

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA DE SOLUÇÕES DE REABILITAÇÃO. CASO DE ESTUDO.

ANA SOFIA ARAÚJO FERREIRA SANTOS NOVAIS

Dissertação submetida para satisfação parcial dos requisitos do grau de
MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL — ESPECIALIZAÇÃO EM CONSTRUÇÕES

Orientadora: Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho

JUNHO DE 2017

MESTRADO INTEGRADO EM ENGENHARIA CIVIL 2016/2017

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

Tel. +351-22-508 1901

Fax +351-22-508 1446

✉ miec@fe.up.pt

Editado por

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Rua Dr. Roberto Frias

4200-465 PORTO

Portugal

Tel. +351-22-508 1400

Fax +351-22-508 1440

✉ feup@fe.up.pt

🌐 <http://www.fe.up.pt>

Reproduções parciais deste documento serão autorizadas na condição que seja mencionado o Autor e feita referência a *Mestrado Integrado em Engenharia Civil - 2016/2017 - Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2017*.

As opiniões e informações incluídas neste documento representam unicamente o ponto de vista do respetivo Autor, não podendo o Editor aceitar qualquer responsabilidade legal ou outra em relação a erros ou omissões que possam existir.

Este documento foi produzido a partir de versão eletrónica fornecida pelo respetivo Autor.

A meus Pais e Irmã

O único lugar onde o sucesso vem antes do trabalho é no dicionário.

Albert Einstein

AGRADECIMENTOS

Após a conclusão deste trabalho, e percurso académico, não posso deixar de agradecer a todos aqueles que contribuíram para o seu desenvolvimento e concretização.

À Professora Doutora Maria Helena Póvoas Corvacho por toda a ajuda, confiança e simpatia demonstrada, e pela disponibilidade ao longo deste trabalho.

Aos meus pais, por todo o apoio incondicional, carinho e valores que me transmitiram ao longo da vida.

À minha querida irmã, pela amizade, carinho e exemplo.

Aos meus amigos, pelo companheirismo nesta vida académica e por todos os bons momentos passados.

Ao meu primo, e arquiteto, Pedro Santos, autor do caso de estudo apresentado nesta dissertação, pela disponibilidade e ajuda.

À Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, por estes anos de aprendizagem e crescimento profissional e pessoal.

RESUMO

O setor da construção é uma das atividades humanas responsáveis por alterações permanentes e impactes no planeta, devido à exploração inadequada de recursos e produção de resíduos, podendo conduzir a uma alteração dos ecossistemas.

A reabilitação de edifícios tem como objetivo conferir características de desempenho e segurança funcional, estrutural e construtiva aos edifícios, e, aliada à sustentabilidade, pode ser a solução face à situação que o sector da construção enfrenta, ainda que este esteja gradualmente a melhorar.

É fundamental que a reabilitação de edifícios permita que estes sejam mais sustentáveis, valorizando assim o ambiente, na medida em que a seleção adequada de materiais e técnicas construtivas pode contribuir para um desempenho ambiental melhor.

A metodologia de avaliação do ciclo de vida (ACV) é uma técnica de gestão ambiental que permite quantificar os impactes ambientais associados a um produto, neste caso, a um material de construção e, posteriormente, a uma solução construtiva.

Nesta dissertação é apresentado um caso de estudo de um edifício, com o objetivo de estudar algumas soluções construtivas propostas para a reabilitação das coberturas e das fachadas do mesmo, bem como soluções alternativas, de maneira a procurar outras hipóteses que possibilitem um impacto ambiental menor.

Este estudo engloba não só a seleção de diferentes materiais de isolamento térmico, mas também a substituição de alguns materiais de construção por outros com um desempenho ambiental mais favorável, e a aplicação de diferentes técnicas construtivas.

PALAVRAS-CHAVE: Sustentabilidade, Reabilitação, Coberturas, Fachadas, ACV

ABSTRACT

The construction sector is one of the human activities responsible for permanent changes and impacts on our planet due to inappropriate exploitation of resources and waste production, which can lead to a change in ecosystems.

Buildings rehabilitation aims to provide performance characteristics and functional, structural and constructive building safety which, combined with sustainability, can be a solution for the situation that the construction sector has been facing, although it is now gradually improving.

It is essential that the buildings rehabilitation makes them more sustainable, enhancing the environment, once the appropriate selection of materials and construction techniques can contribute to a better environmental performance.

The life cycle assessment (LCA) methodology is an environmental management technique that allows quantifying the environmental impacts linked to a product, in this case, a building material and, later, a constructive solution.

In this dissertation, a building study case is presented, with the purpose of analyzing some constructive solutions suggested for the rehabilitation of its roofs and façades, as well as giving alternative solutions, in order to look for other possibilities that may cause a minor environmental impact.

This study includes not only the selection of different thermal insulation materials, but also the replacement of some building materials by others with a more favorable environmental performance, and the application of different construction techniques.

KEYWORDS: Sustainability, Rehabilitation, Roofs, Façades, LCA

ÍNDICE GERAL

AGRADECIMENTOS	i
RESUMO	iii
ABSTRACT	v
 1 INTRODUÇÃO	1
1.1. ENQUADRAMENTO	1
1.2. OBJETIVO	1
1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA	1
 2 CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL	3
2.1. ENQUADRAMENTO	3
2.2. CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO	3
2.2.1. NOÇÕES GERAIS	3
2.2.2. EM PORTUGAL	3
2.2.3. NA EUROPA	5
2.3. SUSTENTABILIDADE	8
2.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	8
2.3.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL	11
2.3.3. CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL	13
2.3.4. IMPACTES AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO	15
2.3.5. MEDIDAS SUSTENTÁVEIS A APLICAR	18
 3 REABILITAÇÃO DE COBERTURAS E FACHADAS	21
3.1. ENQUADRAMENTO	21
3.2. COBERTURAS	21
3.2.1. ENQUADRAMENTO	21
3.2.2. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS	22
3.2.3. COBERTURAS PLANAS	22
3.2.4. COBERTURAS INCLINADAS	24
3.2.5. COBERTURAS COM PAINEL SANDWICH	27
3.2.6. REABILITAÇÃO DE COBERTURAS	27
3.3. FACHADAS	29

3.3.1. EVOLUÇÃO DAS FACHADAS EM PORTUGAL.....	29
3.3.2. REABILITAÇÃO DE FACHADAS	29

4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA..... 33

4.1. ENQUADRAMENTO 33

4.2. OBJETIVO E PROPÓSITO 33

4.3. FASES DA ACV 34

4.3.1. ENQUADRAMENTO..... 34

4.3.2. DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ÂMBITO 34

4.3.3. INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV)..... 35

4.3.4. AVALIAÇÃO DE IMPACTE DO CICLO DE VIDA 36

4.3.4.1. Objetivo..... 36

4.3.4.2. Categorias de impacto ambiental a adotar..... 36

4.3.5. INTERPRETAÇÃO DO CICLO DE VIDA 36

4.3.6. VARIANTES DA ACV 36

4.3.7. QUANTIFICAÇÃO DAS CATEGORIAS DE IMPACTE AMBIENTAL 37

4.4. LIMITAÇÕES E BENEFÍCIOS DA ACV 38

4.4. FERRAMENTAS PARA ACV..... 39

5 CASO DE ESTUDO 41

5.1. APRESENTAÇÃO DO EDIFÍCIO..... 41

5.2. APRESENTAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS..... 42

5.2.1. COBERTURAS 42

5.2.1.1. Considerações iniciais..... 42

5.2.1.2. Cobertura plana ou em terraço..... 43

5.2.1.3. Cobertura inclinada 44

5.2.2. FACHADAS..... 46

5.3. APLICAÇÃO DA ACV AO CASO DE ESTUDO..... 48

5.3.1. TRATAMENTO DE DADOS..... 48

5.3.2. COBERTURAS 48

5.3.2.1. Materiais utilizados 48

5.3.2.1. Propriedades dos elementos..... 49

5.3.2.1. Quantificação das categorias de impactos ambientais dos materiais..... 51

5.3.3. FACHADAS 55

5.3.3.1. Materiais utilizados.....	55
5.3.3.1. Propriedades dos elementos	56
5.3.3.3. Quantificação das categorias de impactes ambientais dos materiais	58
5.4. SOLUÇÕES ALTERNATIVAS	62
5.4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS.....	62
5.4.2. COBERTURAS	62
5.4.2.1. Materiais utilizados.....	62
5.4.2.2. Propriedades dos elementos	62
5.4.2.3. Quantificação das categorias de impacto ambiental	64
5.4.3. FACHADAS.....	67
5.4.3.1. Materiais utilizados.....	67
5.4.3.2. Propriedades dos elementos	68
5.4.2.3. Quantificação das categorias de impacto ambiental	69
5.5. ANÁLISE DE RESULTADOS	71
5.5.1. COBERTURAS	71
5.5.1.1. Cobertura plana.....	71
5.5.1.2. Cobertura inclinada revestida com telha cerâmica	72
5.5.1.3. Cobertura inclinada revestida com chapa metálica	74
5.5.1.4. Cobertura inclinada com painel <i>sandwich</i>	74
5.5.2. FACHADAS.....	75
6 CONCLUSÃO	79
6.1. CONCLUSÕES GERAIS	79
6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS	80
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	81
Anexo 1	85
Anexo 2	95

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 – Taxa de variação anual do PIB e procura interna (%) [4]	4
Figura 2.2 – PIB vs Produção na construção (<i>GDP vs Construction Output</i>) [7]	6
Figura 2.3 – Evolução do sector da construção [7]	6
Figura 2.4 – Output da Construção - taxas de crescimento (%) [7]	7
Figura 2.5 – Taxa de crescimento médio anual de CO ₂ [9]	8
Figura 2.6 – Concentração atmosférica de CO ₂ em Mauna Loa [10]	8
Figura 2.7 – Concentração atmosférica global de CO ₂ [11]	9
Figura 2.8 – Aquecimento global e emissões de CO ₂ entre 1880 e 2015 [12]	9
Figura 2.9 – Concentração dos diversos GEE ao longo dos anos [13]	10
Figura 2.10 - Evolução do número de artigos em revistas internacionais contendo as palavras “desenvolvimento sustentável” como palavras-chave [8]	11
Figura 2.11 – Pilares do desenvolvimento sustentável [16]	12
Figura 2.12 – Pegada ecológica e bio capacidade no mundo entre 1961 e 2013 [19]	13
Figura 2.13 – Prioridades da construção sustentável [20]	14
Figura 2.14 - Abordagem integrada e sustentável às fases do ciclo de vida de uma construção [20].	15
Figura 2.15 – Impactes do ciclo de vida das construções [16]	16
Figura 2.16 – Sistematização dos impactes ambientais da construção [20]	17
Figura 3.1 – Esquema estrutural de uma cobertura inclinada [30]	25
Figura 3.2 – Localização do isolamento térmico numa cobertura inclinada com desvão habitável [34]	25
Figura 3.3 - Localização do isolamento térmico numa cobertura inclinada com desvão não habitável [34]	26
Figura 3.4 – Composição de um painel sandwich [35]	27
Figura 3.5 – Evolução das fachadas em Portugal [39]	29
Figura 3.6 – Isolamento térmico aplicado na caixa-de-ar e aplicado pelo exterior [39]	30
Figura 3.7 – Esquema de revestimento independente com interposição de isolamento térmico no espaço de ar [41]	30
Figura 3.8 – Esquema do sistema ETICS [43]	31
Figura 4.1 - Fases da ACV [44]	34
Figura 4.2 – Etapas do ICV, adaptado de [46]	35

Figura 5.1 - Edifício sem intervenção	41
Figura 5.2 - Edifício após a intervenção	42
Figura 5.3 – Cobertura sem intervenção	43
Figura 5.4 - Pormenor construtivo da cobertura plana (P1)	43
Figura 5.5 – Coberturas inclinadas previstas	44
Figura 5.6 - Pormenor construtivo da cobertura inclinada revestida a telha cerâmica (P2)	44
Figura 5.7 - Pormenor construtivo da cobertura inclinada revestida a chapa metálica (P3)	45
Figura 5.8 - Pormenor construtivo da cobertura inclinada revestida a telha cerâmica com painel <i>sandwich</i> (P4)	45
Figura 5.9 – Pormenor da parede exterior (P5)	46
Figura 5.10 – Pormenor da parede contígua (P6)	46
Figura 5.11 – Pormenor de uma ligação das novas paredes com as pré-existentes (P7)	47
Figura 5.12 - Pormenor de uma articulação das novas paredes com as pré-existentes (P8)	47
Figura 5.13 - IACV na cobertura plana	71
Figura 5.14 – IACV na cobertura plana	72
Figura 5.15 - IACV na cobertura inclinada revestida a telha cerâmica	72
Figura 5.16 – IACV na cobertura inclinada revestida a telha cerâmica	73
Figura 5.17 – IACV na cobertura inclinada utilizando telhas de betão	73
Figura 5.18 – IACV na cobertura inclinada revestida com chapa metálica	74
Figura 5.19 – IACV na cobertura inclinada com painel <i>sandwich</i>	75
Figura 5.20 – IACV na parede do pormenor P5	76
Figura 5.21 – IACV na parede do pormenor P6	77
Figura 5.22 - IACV no pormenor P7 com sistema ETICS	77
Figura 5.23 – IACV no pormenor P7 com sistema ETICS	78

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 2.1– Taxa de variação anual do PIB (%) adaptado de [4]	4
Tabela 2.2 – Número de edifícios por estado de conservação 2001-2011 [6]	5
Tabela 2.3 – Contribuição dos GEE para o efeito de estufa, adaptado de [14]	10
Tabela 2.4 - Políticas, medidas e ferramentas que promovem a construção sustentável, adaptado de [20].....	18
Tabela 2.5 – Medidas que promovam a sustentabilidade, adaptado de [19]	19
Tabela 3.1 - Classificação de coberturas quanto à inclinação [24].....	21
Tabela 3.2 - Classificação das exigências funcionais das coberturas [26] [27].....	22
Tabela 3.3 - Descrição das camadas que compõe uma cobertura em terraço, adaptado de [28]	23
Tabela 3.4 - Classificação de coberturas quanto ao tipo de acessibilidade [29]	24
Tabela 3.5 - Classificação de coberturas quanto à localização do isolamento térmico [22]	24
Tabela 3.6 – Materiais utilizados nas coberturas inclinadas revestidas com chapa e com telha, adaptado de [30] [32]	27
Tabela 3.7 – Anomalias das coberturas, causas e medidas de intervenção, adaptado de [36], [37] e [38].....	28
Tabela 4.1 – Indicadores de Impacte Ambiental considerados na base de dados LCA [1]	36
Tabela 4.2 – Categorias de impacte ambiental a adotar [16]	37
Tabela 4.2 – Categorias de impacte ambiental a adotar [16] (continuação)	38
Tabela 4.3 – Ferramentas para ACV, adaptado de [43] [47]	39
Tabela 5.1- Materiais utilizados na cobertura plana	48
Tabela 5.2 - Materiais utilizados na cobertura inclinada revestida a telha cerâmica.....	48
Tabela 5.3 - Materiais utilizados na cobertura inclinada revestida a chapa metálica.....	49
Tabela 5.4 - Materiais utilizados na cobertura inclinada com painel <i>sandwich</i> ONDUTHERM.....	49
Tabela 5.5 - Propriedades dos elementos a utilizar na cobertura plana	50
Tabela 5.6 - Propriedades dos elementos a utilizar na cobertura inclinada revestida a telha cerâmica	50
Tabela 5.7 - Propriedades dos elementos a utilizar na cobertura inclinada revestida a chapa metálica	50
Tabela 5.8 - Propriedades dos elementos a utilizar na cobertura inclinada com painel <i>sandwich</i>	51
Tabela 5.9 – Impactes associados à produção de 1Kg de material [1]	52
Tabela 5.10 - Quantificação das categorias de impacte ambiental na cobertura plana	53
Tabela 5.11 - Quantificação das categorias de impacte ambiental na cobertura inclinada revestida a telha cerâmica	53

Tabela 5.12 - Quantificação das categorias de impacte ambiental na cobertura inclinada revestida a chapa metálica.....	54
Tabela 5.13 - Quantificação das categorias de impacte ambiental na cobertura inclinada com painel <i>sandwich</i>	54
Tabela 5.14 – Materiais utilizados na parede exterior (P5).....	55
Tabela 5.15 – Materiais utilizados na parede contígua (P6).....	55
Tabela 5.16 – Materiais utilizados no pormenor P7.....	55
Tabela 5.17 - Materiais utilizados no pormenor P8.....	56
Tabela 5.18 – Propriedades dos elementos a utilizar na parede exterior (P5).....	56
Tabela 5.19 - Propriedades dos elementos a utilizar na parede contígua (P6).....	57
Tabela 5.20 – Propriedades dos elementos do pormenor de uma articulação das novas paredes com as pré-existent (P7).....	57
Tabela 5.21 - Propriedades dos elementos do pormenor de uma articulação das novas paredes com as pré-existent (P8).....	58
Tabela 5.22 – Impactes associados à produção de 1Kg de material [1].....	58
Tabela 5.23 - Quantificação das categorias de impacte ambiental na parede exterior (P5).....	59
Tabela 5.24 - Quantificação das categorias de impacte ambiental na parede contígua (P6).....	59
Tabela 5.25 – Quantificação das categorias de impacte ambiental do pormenor P7.....	60
Tabela 5.26 - Quantificação das categorias de impacte ambiental do pormenor P8.....	61
Tabela 5.27 – Tipos de isolamento térmico.....	62
Tabela 5.28 – Propriedades do isolamento térmico das coberturas nas soluções construtivas iniciais.....	62
Tabela 5.29 – Propriedades do isolamento térmico na cobertura plana.....	63
Tabela 5.30 – Propriedades do isolamento térmico na cobertura inclinada revestida a telha cerâmica e chapa metálica.....	63
Tabela 5.31 – Propriedades do betão a utilizar na cobertura revestida a telhas de betão.....	64
Tabela 5.32 – Propriedades do gesso cartonado a utilizar na cobertura com painel <i>sandwich</i>	64
Tabela 5.33 – Impactes associados à produção de 1Kg de material [1].....	64
Tabela 5.34 – Impacte ambiental total para cada tipo de isolamento na cobertura plana.....	65
Tabela 5.35 - Impacte ambiental total para cada tipo de isolamento na cobertura inclinada com a telha cerâmica.....	65
Tabela 5.36 - Impacte ambiental total para cada tipo de isolamento na cobertura inclinada com a chapa metálica.....	66
Tabela 5.37 - Impacte ambiental total utilizando telhas de betão e telhas cerâmicas.....	66
Tabela 5.38 - Impacte ambiental total utilizando gesso cartonado no painel <i>sandwich</i>	66
Tabela 5.39 – Tipos de isolamento térmico.....	67

Tabela 5.40 – Materiais utilizados no sistema ETICS.....	67
Tabela 5.41 - Propriedades do isolamento térmico das paredes nas soluções construtivas iniciais ...	68
Tabela 5.42 - Propriedades do isolamento térmico na parede do pormenor P5	68
Tabela 5.43 - Propriedades do isolamento térmico na parede do pormenor P6	69
Tabela 5.44 – Propriedades do isolamento térmico da solução do sistema ETICS.....	69
Tabela 5.45 - Impacte ambiental total para cada tipo de isolamento no pormenor P5	70
Tabela 5.46 - Impacte ambiental total para cada tipo de isolamento no pormenor P6	70
Tabela 5.47 – Impacte ambiental total com sistema ETICS no pormenor P7	70

SÍMBOLOS, ACRÓNIMOS E ABREVIATURAS

ACV	- Avaliação do ciclo de vida
ADP	- Esgotamento de recursos abióticos
AP	- Acidificação do solo e dos recursos hídricos
CFC's	– Clorofluorcarbonetos
ENR	- Energia não renovável
EP	- Eutrofização
EPS	- Poliestireno expandido moldado
ER	- Energia renovável
ETICS	- <i>External thermal insulation composite system</i>
GDP	- <i>Gross Domestic Product</i>
GEE	- Gases com efeito de estufa
GWP	- Potencial de aquecimento global
IACV	– Interpretação da Avaliação do Ciclo de Vida
ICB	- Aglomerado de cortiça expandida
ICV	- Inventário do ciclo de vida
INE	- Instituto nacional de estatística
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i>
LCA	- <i>Life cycle assessment</i>
LCC	- <i>Life cycle cost</i>
LCI	- <i>Life cycle inventory</i>
MW	- Lã de rocha
OCDE	- Organização de cooperação e desenvolvimento económico
ODP	- Destruição da camada de ozono estratosférico
OSB	- <i>Oriented Strand Board</i>
PIB	- Produto interno bruto
POCP	- Formação de ozono troposférico
PUR	- Espuma rígida de poliuretano
UNEP	- Programa ambiental das Nações Unidas
XPS	- Poliestireno expandido extrudido

CH₄ - Metano

CO₂ – Dióxido de carbono

N₂O – Óxido Nitroso

λ – Condutibilidade térmica [W/ (m°C)]

ρ – Massa volúmica [Kg/m³]

R – Resistência térmica [(m²°C)/ W]

1

INTRODUÇÃO

1.1. ENQUADRAMENTO

O sector da construção é uma das atividades humanas responsáveis por grande parte dos impactos ambientais no nosso planeta. Os elevados consumos energéticos e a extração de matérias-primas não-renováveis conduzem a um aumento das emissões de gases com efeito de estufa, contribuindo, assim, para o aumento das alterações climáticas, que deixam marcas irreversíveis no planeta Terra.

A utilização dos materiais adequados e de boas técnicas construtivas pode melhorar significativamente o desempenho ambiental dos edifícios, de uma maneira sustentável [1].

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que permite avaliar os impactos ambientais associados ao ciclo de vida de um produto, possibilitando a comparação de soluções construtivas, do ponto de vista ambiental, que satisfaçam as mesmas exigências de desempenho [1].

1.2. OBJETIVO

Esta dissertação tem como objetivo a análise de um caso de estudo, utilizando a metodologia ACV, focando os seus procedimentos e analisando os seus resultados. Serão, então, estudados alguns pormenores referentes ao caso de estudo em questão, e analisados os seus impactos ambientais, sendo posteriormente comparados com soluções de reabilitação alternativas, de maneira a poder identificar as vantagens e os inconvenientes das diferentes soluções.

1.3. ORGANIZAÇÃO E ESTRUTURA

Esta dissertação está dividida em seis capítulos, os quais seguem um encadeamento lógico e o respetivo enquadramento de conceitos.

No presente capítulo é feito um enquadramento do tema, bem como quais os objetivos do trabalho e a sua organização.

O segundo capítulo apresenta alguns conceitos relacionados com a sustentabilidade, e de que maneira esta se enquadra na construção e na reabilitação, bem como são abordados os impactos ambientais e medidas sustentáveis que possam ser aplicadas.

O terceiro capítulo foca-se na reabilitação de coberturas e fachadas e tem como propósito apresentar uma descrição generalizada das suas constituições.

No quarto capítulo é apresentada a metodologia ACV, incidindo no seu objetivo, descrição das suas fases e limitações e benefícios do mesmo.

O quinto capítulo trata-se de um caso de estudo, no qual é aplicada a metodologia ACV e apresentados os resultados, bem como uma comparação entre diferentes soluções de reabilitação, de maneira a obter valores que contribuam para um melhor desempenho ambiental.

No sexto, e último capítulo, são apresentadas as conclusões e analisados os resultados deste trabalho, bem como uma indicação de desenvolvimentos futuros.

2

CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL

2.1. ENQUADRAMENTO

Ao longo dos últimos anos, o sector da construção tem sofrido uma profunda crise, tendo havido uma queda acentuada dos principais indicadores do sector, como por exemplo o número de empresas e de pessoas ao serviço, bem como o volume de negócios. De forma a dar resposta aos problemas existentes, torna-se mais importante o conceito de reabilitação, e aliado a estes está também o conceito de sustentabilidade, que se concentra no equilíbrio entre o bem-estar humano e os impactos ambientais, que são consequência da sua existência.

2.2. CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO

2.2.1. NOÇÕES GERAIS

Entende-se por construção a execução de um projeto, previamente elaborado, de uma obra. Consiste na realização de todas as etapas, desde a fundação ao acabamento, respeitando todas as técnicas e normas construtivas.

O principal segmento do sector da construção é a construção nova de edifícios. No entanto, ao longo do tempo, a reabilitação de edifícios também começa a ter uma percentagem significativa no sector. Entenda-se por reabilitação de edifícios “a forma de intervenção destinada a conferir adequadas características de desempenho e de segurança funcional, estrutural e construtiva... ou a conceder-lhes novas aptidões funcionais” [2].

A reabilitação pode ser a resposta aos problemas que o sector da construção atravessa, sendo uma necessidade face ao estado de conservação da edificação existente.

2.2.2. EM PORTUGAL

A construção tem uma importância significativa para a economia nacional, tal como acontece noutros países, pois fornece as infraestruturas necessárias, públicas e privadas, para as diversas atividades e serviços. A importância deste sector não se aplica apenas ao seu produto final, mas também ao facto de proporcionar a existência de emprego para a população, contribuindo, assim, para a evolução da economia do país.

Com o início da crise, o sector da construção sofreu uma enorme quebra e, como consequência deste efeito, houve um decréscimo de 16,3% em Julho de 2013 da produção da Construção no país. Portugal foi considerado, assim, o país com maior quebra no conjunto dos 28 Estados Membros [3].

No entanto, após a implementação do processo de ajustamento da economia portuguesa, iniciado em 2011 e concluído em 2014, a economia portuguesa apresentou, em 2015, uma recuperação mais sustentada.

Alguns indicadores no sector da construção indicam uma possível recuperação, como por exemplo o PIB e a taxa de desemprego.

O Produto Interno Bruto (PIB) apresentou em 2016 um crescimento de 1,4% em termos reais, e a procura interna apresentou um contributo positivo menos intenso para a variação anual do PIB, passando de 2,6 p.p. em 2015 para 1,5 p.p., como indicam a Figura 2.1 e a Tabela 2.1.

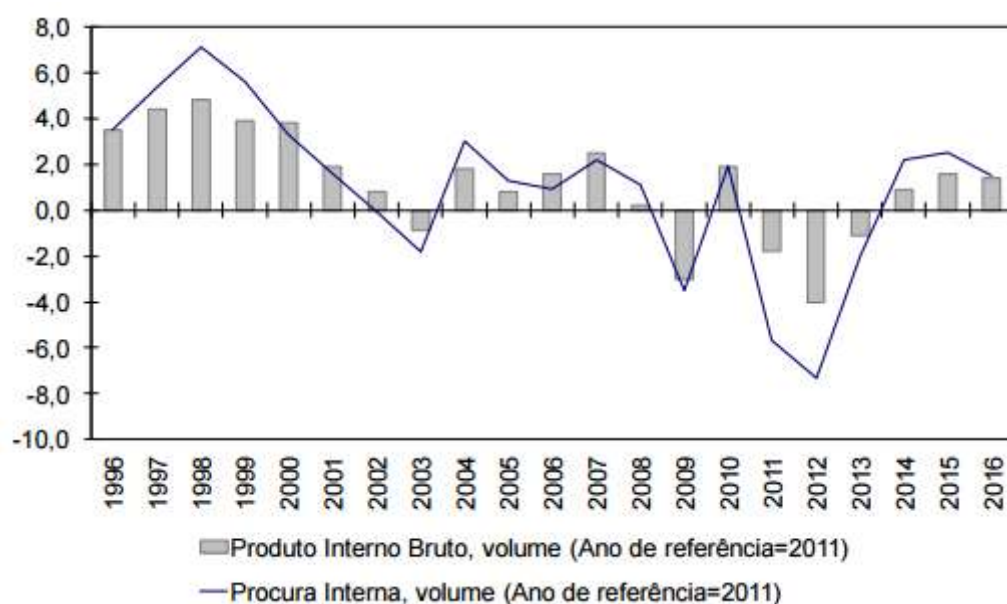


Figura 2.1 – Taxa de variação anual do PIB e procura interna (%) [4]

Tabela 2.1– Taxa de variação anual do PIB (%) adaptado de [4]

	2012	2013	2014	2015	2016
Procura interna	-7,3	-2,0	2,2	2,5	1,5
Exportações	3,4	7,0	4,3	6,1	4,4
Importações	-6,3	4,7	7,8	8,2	4,4
PIB	-4,0	-1,1	0,9	1,6	1,4

Em relação à taxa de desemprego, esta continua elevada (11,1% em 2016), mas ainda assim é mais baixa do que em 2015 (12,4%) [5]. Os números do emprego registados pelo Instituto Nacional de Estatística (INE) durante os primeiros três meses deste ano apontam para um número de trabalhadores na construção em redor dos 303,7 mil, revelando um crescimento de 5,6% face ao período homólogo do ano anterior, e em relação ao peso do emprego da construção no total da economia, este cresceu, tendo passado de 6,4% no 1º trimestre do ano passado para 6,5% em igual período de 2017. [5]

No que diz respeito à reabilitação, registou-se entre 2001 e 2011 uma diminuição de 36% no número de edifícios muito degradados e de 40,4% no número de edifícios com necessidade de grandes reparações, verificando-se uma redução do número de edifícios degradados, como mostra a Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Número de edifícios por estado de conservação 2001-2011 [6]

Estado de conservação	Edifícios clássicos		
	2001	2011	Variação
	Nº		%
Sem necessidade de reparação	1 868 342	2 519 452	34,8
Com necessidade de reparação	1 199 336	965 782	-19,5
Pequenas reparações	706 716	624 322	-11,7
Reparações médias	329 605	244 303	-25,9
Grandes reparações	163 015	97 157	-40,4
Muito degradado	92 365	59 155	-36,0
Total	3 160 043	3 544 389	12,2

A economia portuguesa continua a enfrentar grandes desafios. No entanto, é notória a evolução da reabilitação. É importante garantir um aumento da produtividade e intensificar os progressos observados, de forma a continuar a corrigir os desequilíbrios económicos que ainda caracterizam a economia portuguesa.

2.2.3. NA EUROPA

Em Novembro de 2016 decorreu em Barcelona a 82ª conferência da EUROCONSTRUCT, na qual foi abordada a situação de diversos países relativamente ao sector da construção, destacando-se nesta a seguinte expressão: *“More doubts and less speed, but the European construction sector will keep growing”* [7].

A Figura 2.2 representa a evolução da construção nos 19 países pertencentes à EUROCONSTRUCT, em função do *GDP (Gross Domestic Product)*, uma unidade de medida usada para determinar a performance económica de um determinado país ou região, de forma a ser possível fazer comparações internacionais. Em português, essa expressão é equivalente a Produto Interno Bruto.

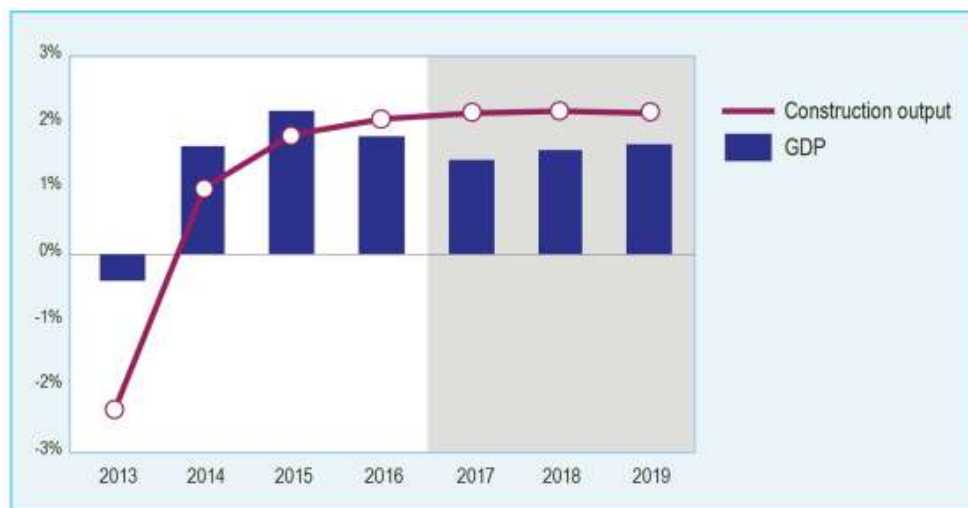


Figura 2.2 – PIB vs Produção na construção (*GDP vs Construction Output*) [7]

O ano de 2017 não começou com muitas expectativas a nível económico (apenas 1,4% GDP), mas o sector da construção tem o potencial para crescer mais (2,1%).

O fator chave para fortalecer o setor da construção é a demanda pública, que a EUROCONSTRUCT espera continuar a melhorar, mas apenas marginalmente e em alguns países. Com bases tão fracas, o crescimento esperado para 2018 e 2019 está entre 2,1% e 2,2%. No entanto, se a previsão se tornar realidade, o sector europeu da construção atingirá 2019 com um crescimento ininterrupto durante seis anos consecutivos. Isso colocaria o nível de produção apenas 3% abaixo da média de 1995-2015.

A Figura 2.3 representa a evolução e uma previsão da construção no que diz respeito aos diferentes tipos de construção, residencial, não residencial e obras de engenharia civil.

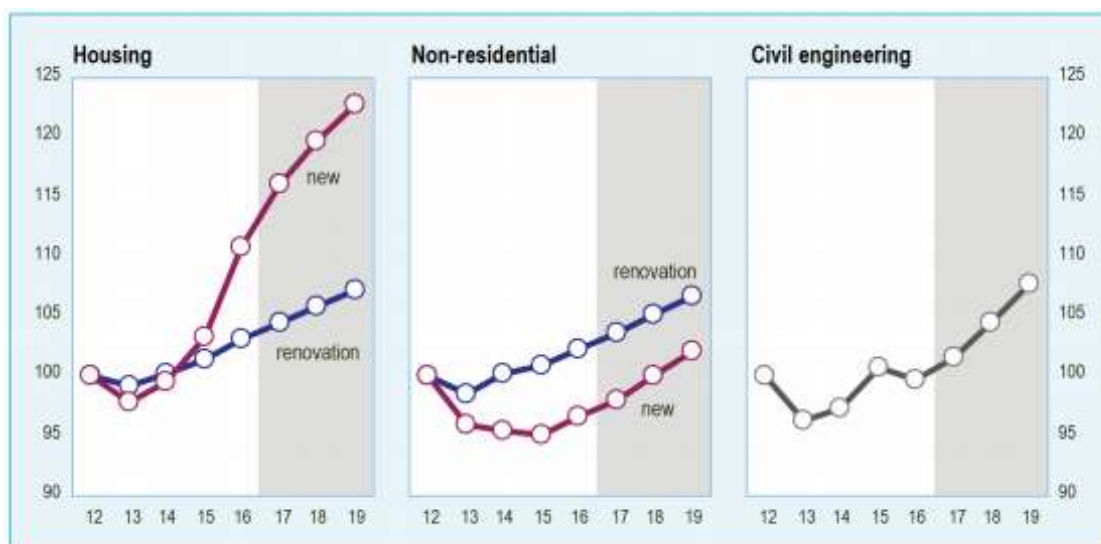


Figura 2.3 – Evolução do sector da construção [7]

Nos últimos anos, não só a economia portuguesa sofreu alterações profundas, como também a dos outros países, um cenário que é efeito da crise que a Europa atravessou. Consequentemente, o mercado residencial, não residencial e engenharia civil reduziram bastante os seus níveis de investimento, influenciando o sector da construção, que, como funciona como barómetro da economia, afetou diretamente a situação económica dos países. A Figura 2.4 indica os valores relativamente a cada país nos últimos anos e a sua previsão para os próximos. Verifica-se um progresso, tanto em relação a Portugal como aos outros países.

Country	2013	2014	2015	Estimate	Forecast	Outlook	
				2016	2017	2018	2019
Austria	-0.9	-0.1	-0.6	1.6	1.4	1.6	1.2
Belgium	-0.8	1.3	1.7	3.1	2.3	3.4	2.3
Denmark	-0.2	2.1	1.3	2.1	2.5	3.0	3.0
Finland	-3.2	-2.0	1.5	6.8	0.9	-0.1	-1.0
France	-1.2	-6.0	-2.0	2.4	3.6	3.1	2.9
Germany	-0.6	1.8	0.3	2.5	1.5	0.2	-0.6
Ireland	1.2	10.1	7.6	12.5	8.5	7.1	9.2
Italy	-3.3	-2.2	0.8	1.9	2.2	1.8	2.2
Netherlands	-3.4	0.5	7.5	5.5	4.3	3.9	3.9
Norway	1.3	1.4	1.8	6.7	3.1	3.9	2.9
Portugal	-14.5	-1.0	3.5	-1.0	3.5	4.5	5.0
Spain	-18.7	-1.7	2.9	2.1	3.2	3.4	3.6
Sweden	1.1	6.2	5.8	6.9	2.7	0.7	-1.0
Switzerland	3.4	3.5	2.0	0.1	1.3	2.6	1.9
United Kingdom	1.6	8.6	4.2	-0.2	-0.2	0.9	2.8
Western Europe	-2.2	0.8	1.6	2.4	2.1	1.9	1.9
Czech Republic	-7.0	4.1	7.0	-9.0	-3.2	4.5	8.3
Hungary	5.3	8.3	2.9	-3.3	10.0	12.0	7.1
Poland	-5.7	5.1	4.1	-0.8	4.2	6.8	4.8
Slovak Republic	-5.2	-3.9	18.5	-5.4	6.2	4.9	-0.1
Eastern Europe	-4.8	4.7	5.5	-3.3	3.5	6.9	5.5
Euroconstruct Countries	-2.4	1.0	1.8	2.0	2.1	2.2	2.1

Figura 2.4 – Output da Construção - taxas de crescimento (%) [7]

É possível dizer-se que o sector da construção em Portugal está mais direcionado para a construção nova, embora se verifique uma redução do ritmo de construção e uma maior importância no segmento da reabilitação, o qual ainda apresenta um dinamismo um pouco limitado, mas com potencial. A atividade deste segmento pode estar retraída devido à falta de liquidez financeira das empresas, dificuldade de escoamento de habitação nova, ou até mesmo à existência de um quadro legal da construção que não se adequa às intervenções de reabilitação. Dado o elevado número de edifícios que carece de intervenção, a dinamização do segmento de reabilitação é uma possível solução face às dificuldades no sector da construção.

2.3. SUSTENTABILIDADE

2.3.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

A maior ameaça ambiental do século XXI são as alterações climáticas e um dos maiores problemas associados a estas é a concentração de dióxido de carbono (CO_2) na atmosfera. A estação de medição de CO_2 mais antiga do mundo situa-se em Mauna Loa, no Havai, tendo sido iniciadas as medições em 1959, ano ao qual corresponde uma quantidade de CO_2 de 316 partes por milhão. A Figura 2.5 e a Figura 2.6 representam a taxa de crescimento e os níveis de concentração de CO_2 em Mauna Loa, e a Figura 2.7 representa a situação global face à mesma situação. Verifica-se que os valores ultrapassam os 400 ppm, um crescimento abismal, com tendência a continuar, e, com os registos atuais e os padrões de crescimento económico dos países menos desenvolvidos e mais populosos (como a China ou a Índia), é previsível que em 2050 se atinjam valores de 550 ppm [8].

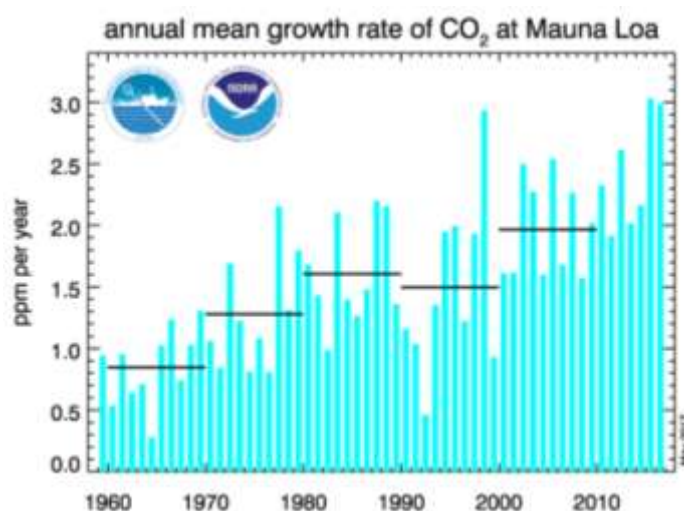


Figura 2.5 – Taxa de crescimento médio anual de CO_2 [9]

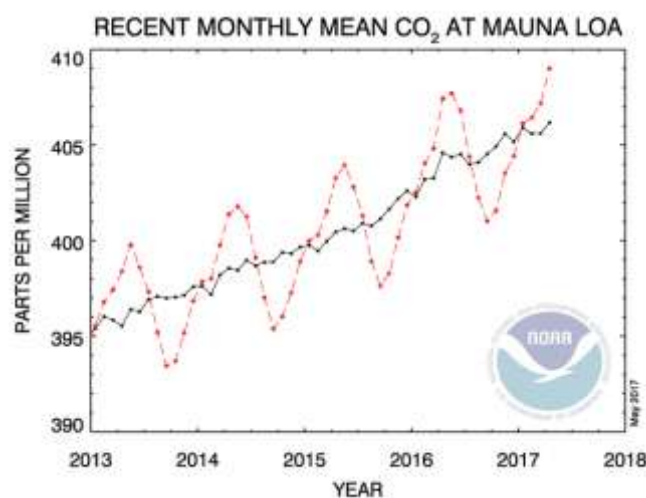


Figura 2.6 – Concentração atmosférica de CO_2 em Mauna Loa [10]

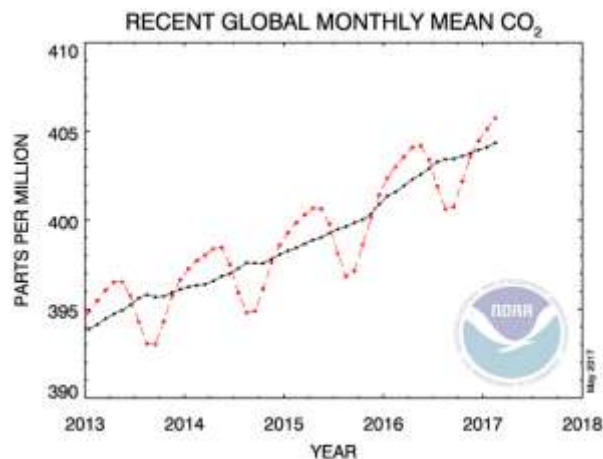


Figura 2.7 – Concentração atmosférica global de CO₂ [11]

Relacionado com a concentração de CO₂, e considerado o problema urgente com o qual se depara o nosso planeta, está o aumento da temperatura média do ar. A Figura 2.8 mostra a relação forte entre o aumento brusco da concentração de CO₂ e da temperatura.

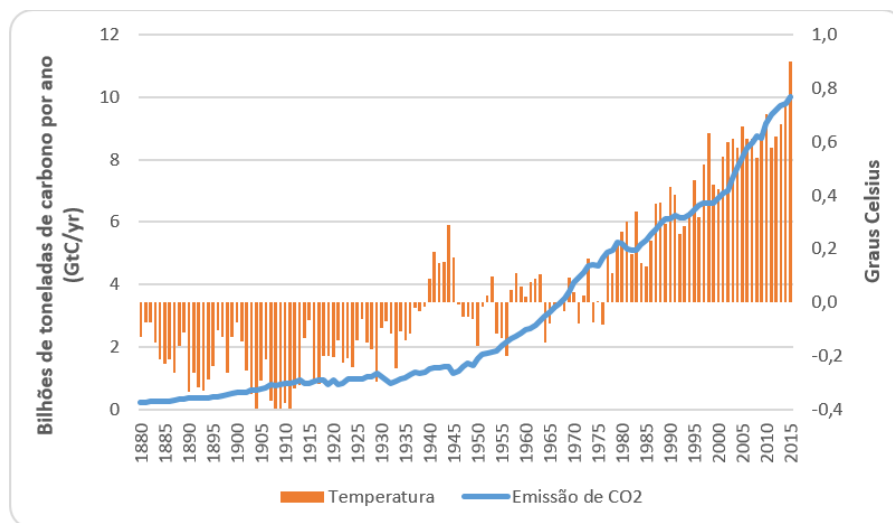


Figura 2.8 – Aquecimento global e emissões de CO₂ entre 1880 e 2015 [12]

É necessário urgentemente reduzir as emissões de gases com efeito de estufa (GEE), pois não é apenas a concentração de CO₂ que está a aumentar, mas também de óxido nitroso (N₂O) e metano (CH₄), apesar de ser notória uma redução de clorofluorcarbonetos (CFC's) nos últimos anos. Apesar de serem essenciais para a preservação da existência da Terra, na medida em que controlam a temperatura do planeta, o problema é que estes gases têm proliferado com uma grande velocidade, provocando um excesso de temperatura, considerado já uma mudança climática. A Figura 2.9 reúne as diversas evoluções de concentração de cada GEE ao longo dos anos e a Tabela 2.3 indica qual a sua contribuição para o efeito de estufa.

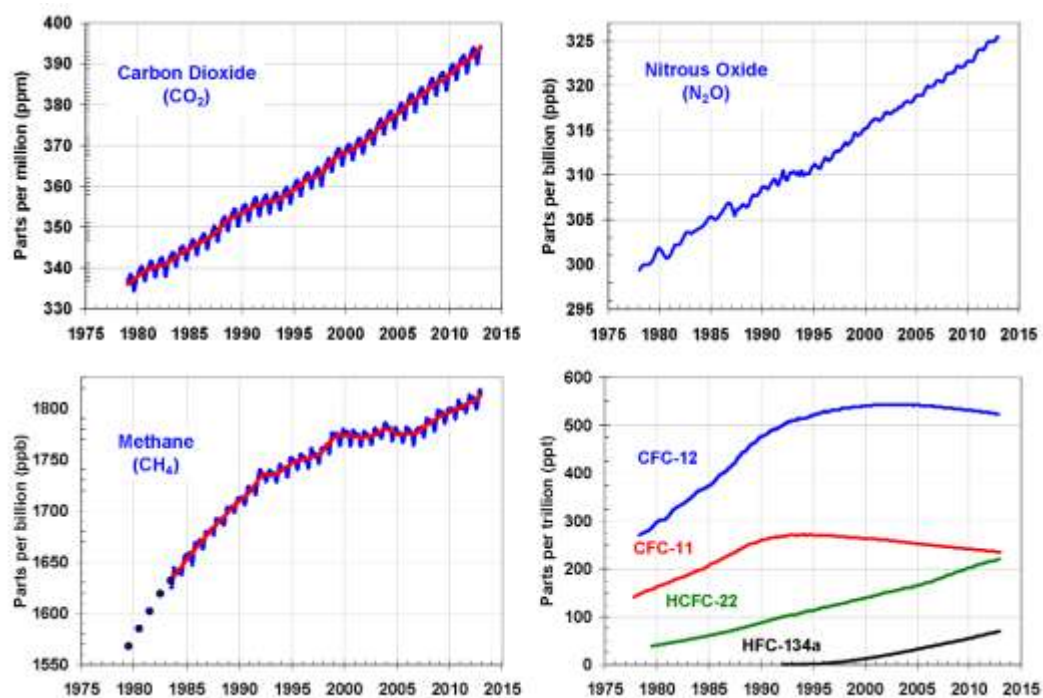


Figura 2.9 – Concentração dos diversos GEE ao longo dos anos [13]

Tabela 2.3 – Contribuição dos GEE para o efeito de estufa, adaptado de [14]

GEE	Contribuição para efeito de estufa	Exemplos de fontes de emissão antropogénicas
CO ₂	60%	Combustíveis fósseis e destruição florestal
CH ₄	20%	Produção e consumo de energia, águas residuais, aterros sanitários
N ₂ O	6%	Fertilização, queima de biomassa e combustíveis fósseis
Outros compostos	14%	Aerossóis, espumas expandidas e solventes

O aumento da população mundial, os elevados índices de urbanização e a exagerada exploração de recursos, que tem como consequência uma maior produção de resíduos, juntamente com as alterações climáticas, constituem fatores de risco elevado para a preservação da biodiversidade. O princípio básico para minimizar os impactos ambientais da atividade humana é, assim, a limitação da produção de gases com efeito de estufa (GEE).

2.3.2. DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL

Ao longo do tempo, a definição de desenvolvimento sustentável tem sido bastante discutida e sofrido algumas alterações. A sua primeira noção foi criada em 1987 pela Comissão Mundial do Ambiente e do Desenvolvimento de Brundtland, intitulado de “O nosso futuro comum” onde se afirma que “o desenvolvimento sustentável é o desenvolvimento que satisfaz as necessidades atuais sem comprometer a capacidade das gerações futuras para satisfazerem as suas próprias necessidades” [8]. A partir dessa altura, o conceito de “desenvolvimento sustentável” é cada vez mais discutido, tal como mostra a Figura 2.10.

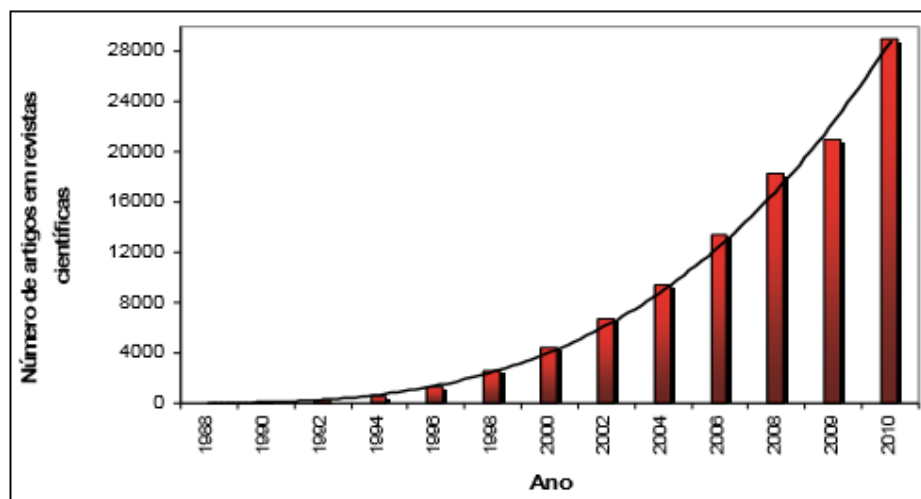


Figura 2.10 - Evolução do número de artigos em revistas internacionais contendo as palavras “desenvolvimento sustentável” como palavras-chave [8]

Uma sociedade sustentável é aquela que atenta numa linha de desenvolvimento económico e que, sem prejudicar o ambiente, proporciona aos seus cidadãos os bens e serviços para garantir uma vida com qualidade à geração presente e às gerações futuras. São estes os pilares do desenvolvimento sustentável, indicados na Figura 2.11. Para melhor se garantir um desenvolvimento sustentável, foi criado um projeto intitulado de Agenda 2030 [15], fruto do trabalho conjunto de governos e cidadãos de todo o mundo, de maneira a criar um modelo global que permita cumprir 17 objetivos de Desenvolvimento Sustentável. Portugal teve uma participação importante no processo de definição desta Agenda, destacando-se na defesa de objetivos de promover sociedades pacíficas e inclusivas.

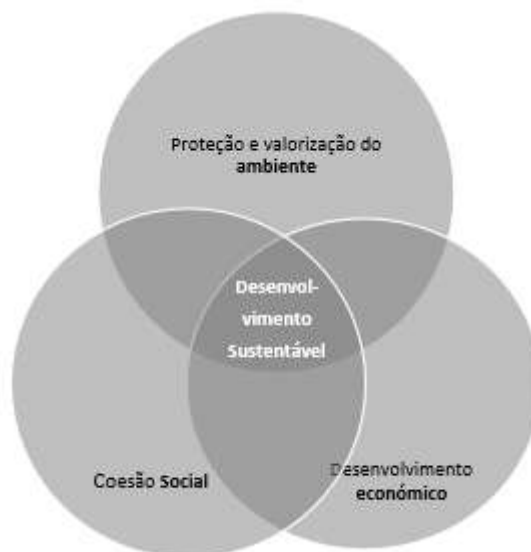


Figura 2.11 – Pilares do desenvolvimento sustentável [16]

No entanto, Portugal apresenta alguns condicionamentos relativamente ao assunto do Desenvolvimento Sustentável [8]:

- Património natural e de biodiversidade em risco
- Dependência energética excessiva
- Deficiente gestão de recursos hídricos
- Elevados níveis de emissão de gases responsáveis pelo efeito de estufa (GEE)

Importa também referir o plano para Portugal 2020 [17]. Trata-se um acordo entre Portugal e a União Europeia, no qual se define a política de desenvolvimento económico, social e territorial para promover o desenvolvimento sustentável entre 2014 e 2020, alinhados com o crescimento inteligente, sustentável e inclusivo.

Aliada à ideia de sustentabilidade está o conceito de pegada ecológica, a qual foi criada para ajudar a perceber a quantidade de recursos naturais que utilizamos para suportar o nosso estilo de vida. Expressa em hectare global, pode ser definida como a superfície terrestre necessária para gerar recursos e para absorver os resíduos de um indivíduo ou edifício [8].

Portugal é considerado deficitário na sua capacidade de fornecer recursos naturais face às atividades desenvolvidas pelo ser humano. A pegada *per capita* em Portugal é de 3,9 hectares globais e a bio capacidade 1,5, sendo esta a quantidade de área biologicamente produtiva que está disponível para atender às necessidades da humanidade [18]. Ou seja, a diferença é de 2,4 hectares globais, o que significa que a pegada ecológica excede em 160% a bio capacidade, colocando Portugal nos países com maior défice ambiental de todo o mundo. Globalmente, o cenário correspondente à pegada ecológica e à bio diversidade é o indicado na Figura 2.12, que representa o aumento e diminuição dos mesmos, respetivamente.

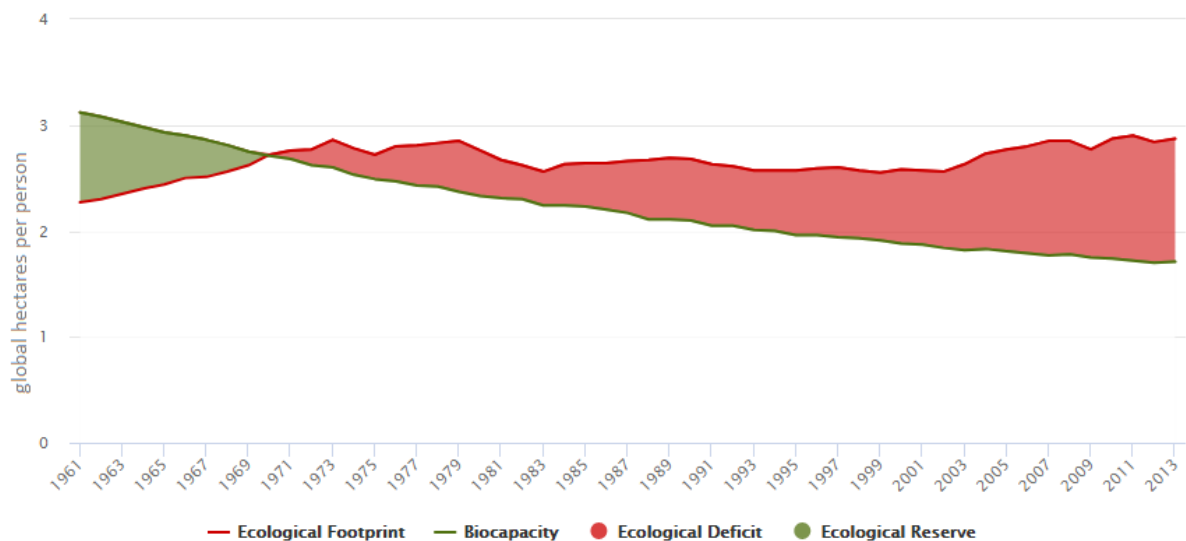


Figura 2.12 – Pegada ecológica e bio capacidade no mundo entre 1961 e 2013 [19]

O planeta é a fonte de tudo aquilo que se necessita para se viver e é urgente mudar o rumo no que diz respeito à sustentabilidade. A mudança necessária não consegue ser atingida apenas com o esforço de cada cidadão, mas também com a ação política e das empresas, que desempenham um papel crucial. É necessário, portanto, ter em conta que o desenvolvimento sustentável alia-se ao facto de que os ecossistemas mantêm as sociedades que geram economia, e que a sustentabilidade social e económica só é viável com um planeta saudável.

2.3.3. CONSTRUÇÃO E REABILITAÇÃO SUSTENTÁVEL

O conceito de construção sustentável foi criado por *Charles Kibert*, e define-se como “a criação e manutenção responsáveis de um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e em princípios ecológicos”. Assim, o CIB (*International Council for Research and Innovation in Building and Construction*) apresentou os sete princípios para a construção sustentável, os quais são aplicáveis durante todo o ciclo de vida da construção [8] [20]:

- Reduzir – Redução do consumo de recursos
- Reutilizar – Aumento da reutilização de recursos
- Reciclar – Utilização de materiais recicláveis e reciclados
- Natureza – Proteção do ambiente natural
- Resíduos Tóxicos – Eliminação dos produtos tóxicos
- Qualidade – Assegurar a qualidade
- Economia – Analisar os custos do ciclo de vida

Também a Organização de Cooperação e Desenvolvimento Económico (OCDE) apresenta uma definição para construção sustentável, considerando que um edifício sustentável é aquele que minimiza os impactos sobre o ambiente natural e construído, quer à escala do edifício e da sua envolvente, como também à escala regional e global [14].

O projeto “*Sustainable Buildings*” [20] apresenta cinco prioridades para que uma construção seja considerada sustentável:

- Uso eficiente de recursos;
- Eficiência energética (incluindo a redução dos gases com efeito de estufa);
- Prevenção da poluição (incluindo a qualidade do ar interior e a diminuição do ruído);
- Harmonização com o ambiente (Incluindo a Avaliação do Impacte Ambiental);
- Abordagem integrada e sistémica dos diversos aspetos da construção relacionados com o desenvolvimento sustentável.

Apesar de apresentar várias definições, o conceito de construção sustentável assenta sempre nas três dimensões da sustentabilidade: social, económica e ambiental. Com base nos princípios anteriormente indicados, apresentam-se na Figura 2.13 as prioridades que são consideradas por Mateus os pilares da construção sustentável.

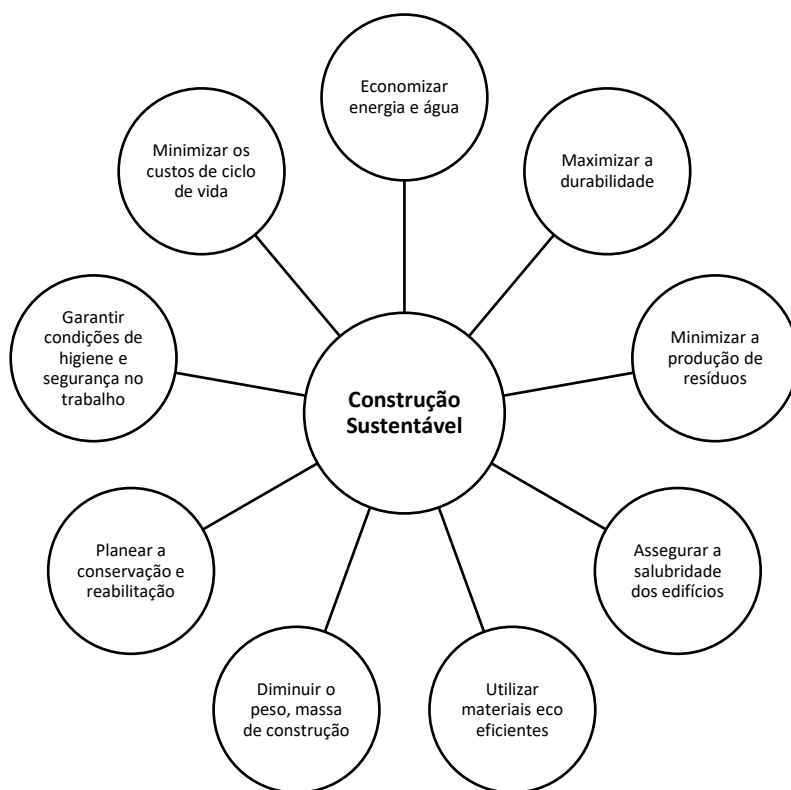


Figura 2.13 – Prioridades da construção sustentável [20]

As diferentes fases que constituem o ciclo de vida das construções são programa, projeto, construção, operação/manutenção e demolição/deposição. Tanto para uma construção nova como para uma obra de reabilitação, estas interagem com as prioridades e princípios anteriormente referidos. Esta relação encontra-se sumariada na Figura 2.14.

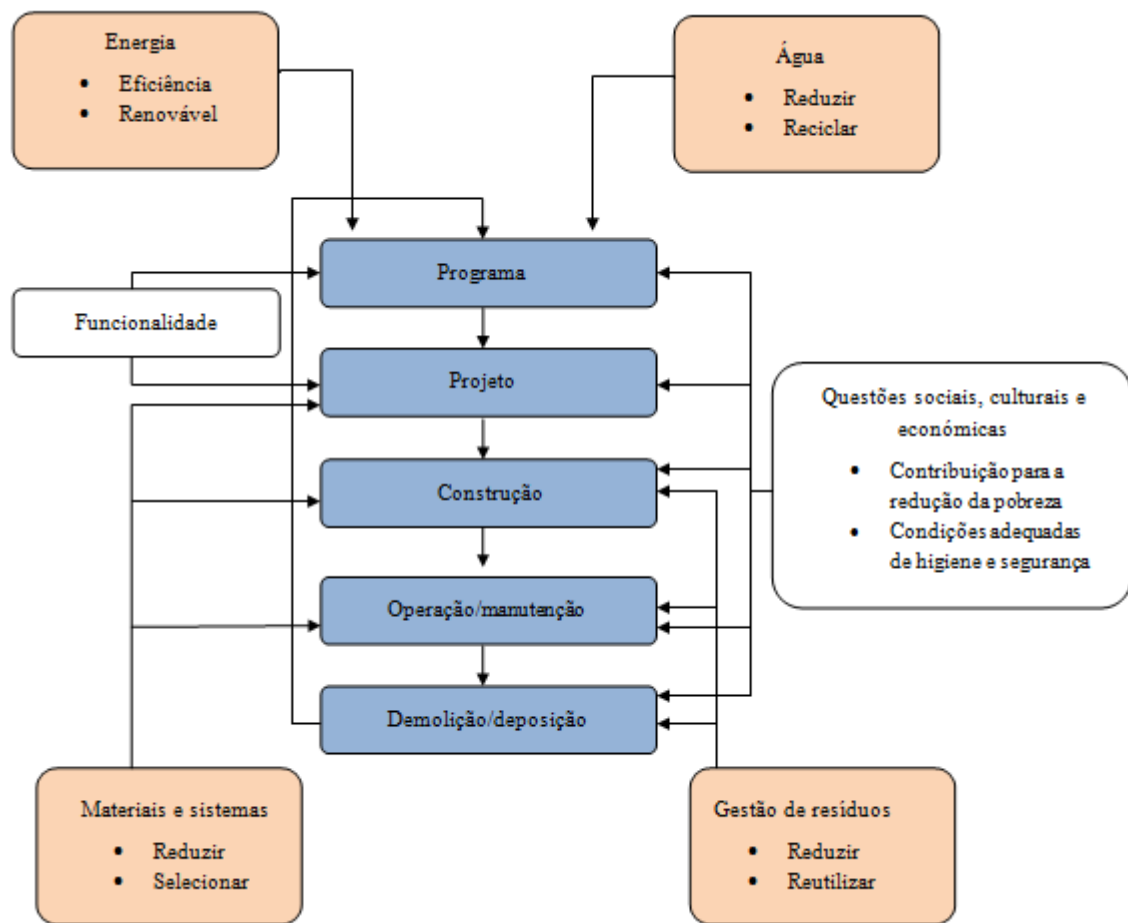


Figura 2.14 - Abordagem integrada e sustentável às fases do ciclo de vida de uma construção, adaptado de [20]

2.3.4. IMPACTES AMBIENTAIS NA CONSTRUÇÃO

Entenda-se por impacto ambiental o “conjunto de alterações favoráveis e desfavoráveis produzidas em parâmetros ambientais e sociais, num determinado período de tempo e numa determinada área, resultantes da realização de um projeto, comparadas com a situação que ocorreria, nesse período de tempo e nessa área, se esse projeto não viesse a ter lugar” [21].

A situação ambiental está desde logo associada à ocupação e uso do solo, consumo de recursos e produção de resíduos, podendo, consequentemente, levar a uma alteração dos ecossistemas naturais.

Segundo o Programa Ambiental das Nações Unidas (UNEP), os impactes ambientais, e também sociais, mais importantes no sector da construção e reabilitação de edifícios são os seguintes [20]:

- Extração de matérias-primas, associada ao esgotamento dos recursos naturais
- Alteração do tipo de uso do solo, incluindo a diminuição da biodiversidade;
- Produção de ruído;
- Utilização de recursos energéticos e respetivas emissões de gases com efeito de estufa;
- Outras emissões exteriores e interiores;
- Degradação do aspeto estético das cidades;
- Utilização de água e produção de águas residuais;
- Crescimento das necessidades de transporte (dependendo do planeamento urbano);

- Vários efeitos derivados do transporte dos materiais de construção;
- Produção de resíduos;
- Desmembramento de comunidades;
- Riscos de saúde nos estaleiros de construção e para os ocupantes dos edifícios;

No sector da construção, as atividades construtivas e o respetivo ciclo de vida estão relacionadas com as três dimensões da sustentabilidade. O ciclo de vida das construções tem início na fase de conceção e termina na fase de demolição, passando pela fase de utilização, sendo esta a fase à qual estão associados os maiores benefícios da construção. No entanto, em termos de impacte, as fases de construção e de demolição são as mais afetadas, sendo, por isso, necessário avaliar todas as fases, pois todas têm a sua importância. Cada fase do ciclo de vida tem diversos impactes associados, como apresenta a Figura 2.15.

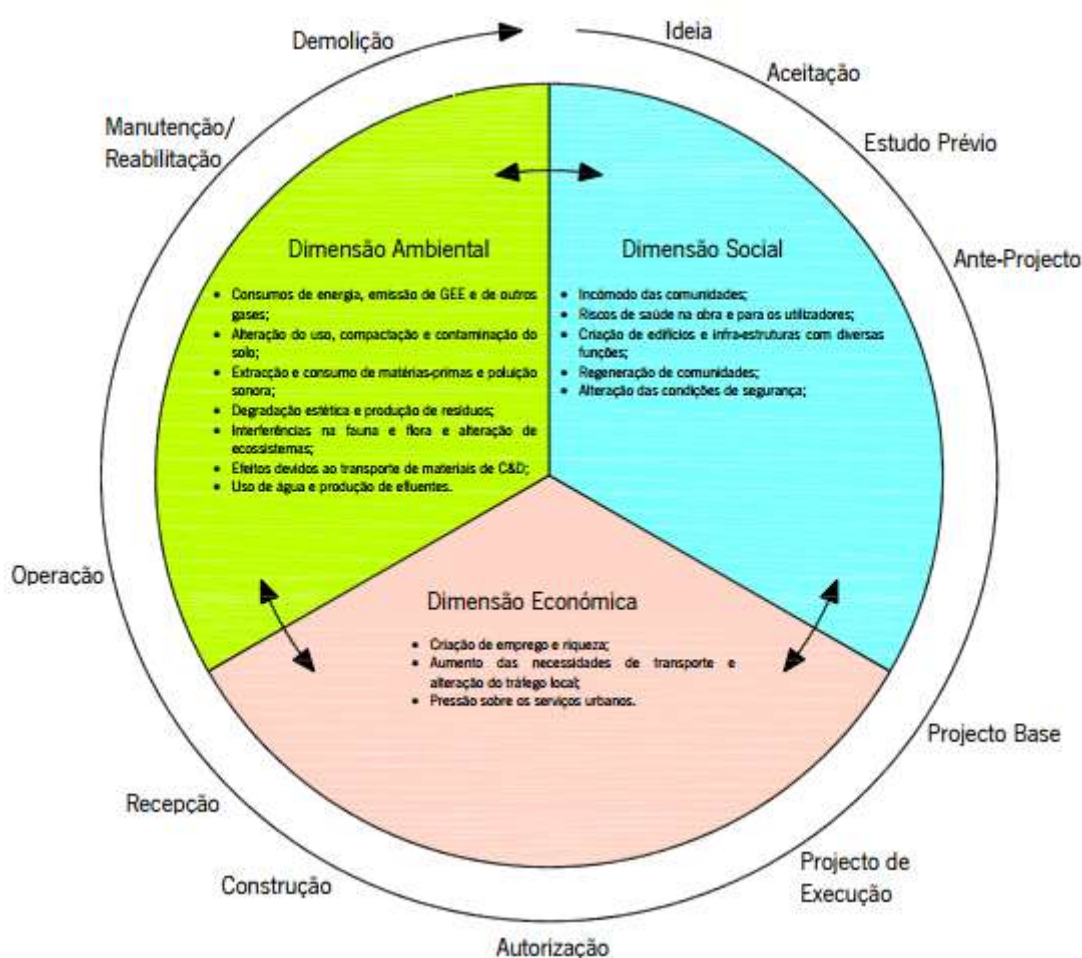


Figura 2.15 – Impactes do ciclo de vida das construções [16]

É possível organizar e agrupar os impactes ambientais em quatro dimensões, como a pressão sobre os recursos, emissões e cargas ambientais, alterações nos sistemas ambientais de base natural e alterações nos sistemas ambientais de base construído, indicadas na Figura 2.16.

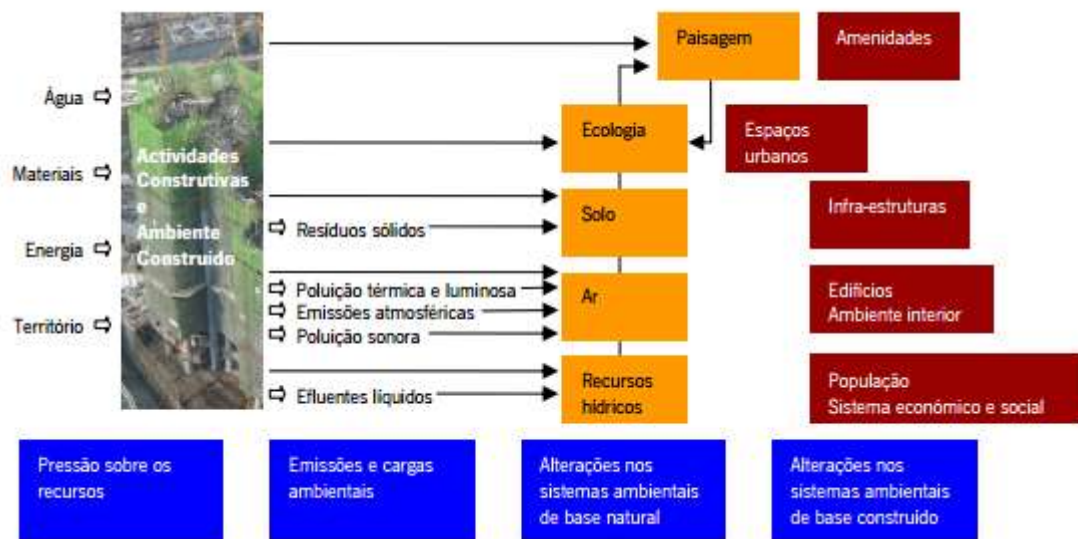


Figura 2.16 – Sistematização dos impactes ambientais da construção [20]

2.3.5. MEDIDAS SUSTENTÁVEIS A APLICAR

É possível verificar que têm sido aplicadas algumas medidas e políticas que promovam a sustentabilidade na construção. Na Tabela 2.4 encontram-se as principais soluções identificadas, bem com as ferramentas que as tornam possíveis.

Tabela 2.4 - Políticas, medidas e ferramentas que promovem a construção sustentável, adaptado de [20]

Fases do processo de construção	Aceitação até ao projeto de execução	Construção/reabilitação	Utilização	Demolição/desconstrução
Políticas e medidas	Incorporação da sustentabilidade nos códigos e normas; Promoção de metodologias consensuais de apoio à conceção de construções sustentáveis; Promoção da sustentabilidade nas obras públicas; Formação adequada das equipas de projeto; Atribuição de prémios a projetos-piloto; Taxas bonificadas para acesso ao crédito; Prémios de seguros menos elevados; Planeamento da utilização do solo; Zonamento do território; Regulamentos (p.e. eficiência energética).	Benefícios fiscais na aquisição de materiais e equipamentos mais sustentáveis; Análise de todos os custos com materiais; Leis de trabalho e normas que promovam a sustentabilidade nos trabalhos de construção; Implementação de sistema de gestão da qualidade, saúde e ambiente nos estaleiros.	Benefícios fiscais na aquisição de equipamentos mais sustentáveis; Formação adequada dos utilizadores; Promoção de metodologias consensuais de avaliação e certificação da sustentabilidade; Taxas bonificadas no IMI; Análise de todos os custos; Implementação de sistema de gestão ambiental.	Regulamentos acerca do tratamento dos resíduos de construção (reciclagem, incineração e deposição em aterros); Taxas (no caso da deposição e incineração)
Ferramentas	Avaliação do ciclo de vida (LCA); Avaliação dos custos de ciclo de vida (LCC); Metodologias de apoio à conceção de construções sustentáveis.	Declarações ambientais de produtos; ISO 14000; ISO 9000.	Etiquetagem/certificação da sustentabilidade; Auditorias energéticas.	

Elaborar um projeto ou executar uma obra com um melhor desempenho ambiental é ter em conta o uso eficiente de energia, da água, e também o uso de materiais certificados e renováveis. Na Tabela 2.5 estão apresentadas algumas medidas que promovam uma maior sustentabilidade.

Tabela 2.5 – Medidas que promovam a sustentabilidade, adaptado de [19]

Uso eficiente de energia	Uso eficiente da água	Uso de materiais sustentáveis
Utilização de iluminação de baixo consumo		
Utilização de acionadores com sensores de presença		
Aproveitamento da luz natural disponível	Utilização de Equipamentos Eficientes	Uso de materiais saudáveis
Utilização de sensores de luz natural e regulação de fluxo	Aproveitamento das águas residuais	Uso de materiais isolantes
Adoção de cores claras	Segurança no uso de águas recicladas	Uso de materiais com baixa energia incorporada
Utilização de coletores solares		Uso de materiais duráveis
Utilização de Bombas de Calor		Uso de materiais reciclados/recicláveis
Utilização de Caldeiras a biomassa		Uso de materiais locais
Uso de equipamentos eficientes		
Integração de energias renováveis		

3

REABILITAÇÃO DE COBERTURAS E FACHADAS

3.1. ENQUADRAMENTO

A reabilitação de edifícios é uma prática que, ao longo do tempo, se desenvolve cada vez mais, e que parece ser a solução ideal no sector da construção, face à crise económica presente no país.

É um processo mais complexo do que a construção nova, na medida em que, ao reabilitar um edifício antigo, o qual foi construído segundo técnicas construtivas que podem já não ser utilizadas, é necessário encontrar a melhor solução de reabilitação.

A reabilitação de edifícios requer, portanto, o conhecimento de técnicas e materiais de construção, de maneira a haver uma maior qualidade nas intervenções realizadas.

Para melhor compreender o trabalho realizado, será feita uma análise relativa às coberturas e fachadas, de maneira a conhecer as suas principais características.

3.2. COBERTURAS

3.2.1. ENQUADRAMENTO

As coberturas são um dos elementos construtivos mais importantes num edifício. Têm como função proteger o edifício dos diversos agentes atmosféricos, como a radiação solar, chuva ou vento, contribuindo também para o conforto térmico e acústico do edifício, e têm ainda uma contribuição estética [22].

Para que uma reabilitação seja bem efetuada, é necessário conhecer bem o tipo de cobertura com que se está a trabalhar. Segundo a inclinação, as coberturas de um edifício podem ser divididas em coberturas inclinadas e coberturas planas, sendo que, no que diz respeito à cobertura plana, existe também a cobertura com pendente nula, como referenciado na Tabela 3.1. No entanto, esta última não será considerada, pois, segundo o artigo 43.º do Regime Geral das Edificações Urbanas (RGEU), a inclinação mínima, que garante o escoamento das águas pluviais, é 1% [23].

Tabela 3.1 - Classificação de coberturas quanto à inclinação [24]

Tipos de Cobertura	Inclinação
Cobertura inclinada	>5%
Cobertura em terraço ou plana	1% ≤ i ≤ 5%
Cobertura em terraço com pendente nula	<1%

A cobertura mais frequente em Portugal é a cobertura inclinada. No entanto, ao longo do tempo, a cobertura plana, ou em terraço, começou também a ser uma alternativa, atingindo em 2011, perto de 10% das escolhas arquitetónicas na construção nova de edifícios em Portugal [25].

3.2.2. EXIGÊNCIAS FUNCIONAIS

As coberturas devem ser executadas de forma a responder a um conjunto de exigências funcionais, indicadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Classificação das exigências funcionais das coberturas [26] [27]

Exigências de segurança	Exigências de habitabilidade	Exigências de durabilidade	Exigências de economia
Segurança estrutural	Estanquidade	Conservação das resistências mecânicas	
Segurança contra incêndios	Conforto térmico	Conservação dos materiais	
Segurança contra riscos de uso normal	Conforto acústico	Resistência a ações decorrentes do uso normal	Limitação do custo global
Resistência das camadas não estruturais	Disposição de acessórios e equipamentos	Limpeza, manutenção e reparação	Economia de energia
	Aspeto		
	Qualidade do ar		

3.2.3. COBERTURAS PLANAS

Pode-se classificar uma cobertura como plana quando os materiais que a constituem estão dispostos em camadas muito próximas da horizontal. No entanto, como referido anteriormente, devem ter uma inclinação entre 1% e 5%. Ao longo do tempo, cada vez mais são utilizadas as coberturas planas, ou em terraço, pois é possível um maior aproveitamento do espaço, que pode ser utilizado como terraço.

As camadas essenciais que constituem a maior parte das coberturas planas são as indicadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Descrição das camadas que compõe uma cobertura em terraço, adaptado de [28]

Elementos	Descrição
Estrutura de suporte	Elemento estrutural que serve de apoio à cobertura. Geralmente para edifícios habitacionais e para escritórios a laje da cobertura é em betão armado e pode ser maciça, aligeirada ou em pré-lajes.
Camada de forma	Define a pendente da cobertura necessária para o escoamento equilibrado de água. Pode também funcionar como isolamento térmico, sendo necessário posicionar uma barreira pára-vapor entre a camada de forma e a estrutura resistente.
Camada de impermeabilização ou revestimento de impermeabilização	Garante estanquidade à cobertura.
Isolamento térmico	Satisfaz as exigências de conforto térmico dos edifícios. Pode ser colocado sob ou sobre a camada de impermeabilização, dependendo se a cobertura é tradicional ou invertida, respetivamente.
Revestimento de proteção	Tem como função proteger a cobertura das ações mecânicas e climáticas, principalmente a camada de impermeabilização.
Camada de dessolidarização	Colocada entre a camada de impermeabilização e a camada de proteção, permite o funcionamento do sistema de impermeabilização independente da camada de proteção. Quando a cobertura é acessível a pessoas e/ou veículos é imprescindível a existência desta camada, de forma a prevenir a transmissão de tensões à impermeabilização devido à circulação.
Barreira pára-vapor	Impede que o vapor de água produzido no interior dos compartimentos atinja a camada de isolamento térmico, evitando assim condensações. Se a cobertura for invertida, esta camada não é necessária.
Separadores	Tem como função separar os materiais das restantes camadas que possam ser incompatíveis.
Camada de regularização	Tem como função regularizar a superfície da estrutura resistente, de maneira a que fique com condições de receber a camada seguinte.

É possível também caracterizar este tipo de coberturas em relação ao tipo de acessibilidade e também em relação à localização do isolamento térmico, como referido na Tabela 3.4 e na Tabela 3.5.

Tabela 3.4 - Classificação de coberturas quanto ao tipo de acessibilidade [29]

Tipos de Cobertura	Condições de utilização
Cobertura não acessível	Acesso limitado a trabalhos de manutenção ou reparação
Cobertura acessível a pessoas	Acesso limitado à circulação de pessoas
Cobertura acessível a veículos ligeiros e pesados	Permitida a circulação de veículos ligeiros e pesados, e de pessoas
Coberturas especiais	Coberturas jardins e destinadas a reparação/manutenção de equipamentos

Tabela 3.5 - Classificação de coberturas quanto à localização do isolamento térmico [22]

Tipo de cobertura	Descrição
Cobertura tradicional	Isolamento sob a camada de impermeabilização
Cobertura invertida	Isolamento sobre a camada de impermeabilização
Cobertura sem isolamento	Não tem isolamento

3.2.4. COBERTURAS INCLINADAS

Tal como referido anteriormente, as coberturas inclinadas são o tipo de coberturas mais utilizado em Portugal. São caracterizadas pela sua inclinação superior a 5%, sendo esta a sua característica principal.

Este sistema de coberturas é constituído pela utilização de diversos elementos construídos por diversos materiais como o betão, madeira, ou metal, tal como mostra a Figura 3.1.

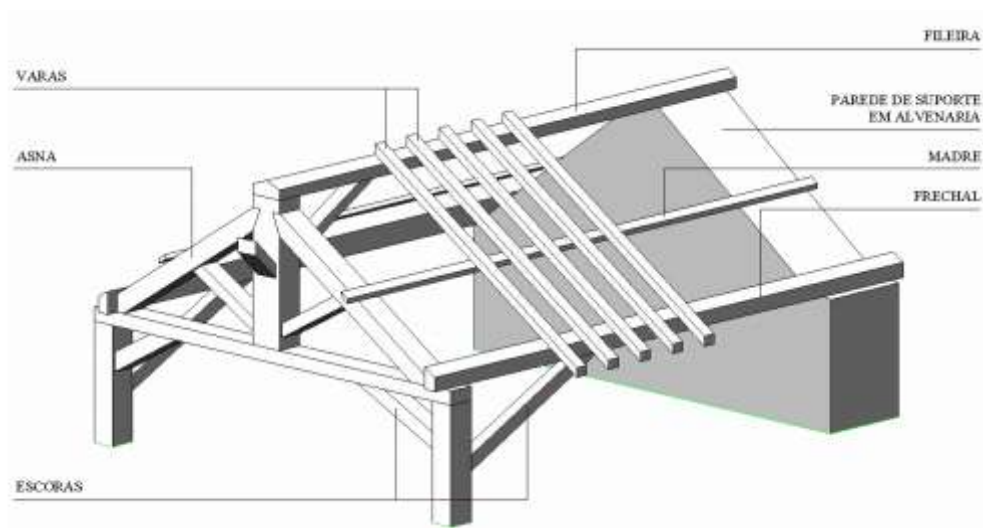


Figura 3.1 – Esquema estrutural de uma cobertura inclinada [30]

Relativamente à estrutura de suporte, esta pode assumir três classificações [31] [32] [33]:

- Descontínua: Quando a estrutura possui todos ou alguns elementos representados na Figura 3.1.
- Monolítica ou contínua.
- Elemento Autoportante: Estruturas com carácter mais atual de coberturas inclinadas, cujo revestimento inclui a estrutura, impermeabilização e isolamento térmico, funcionando como um sistema que, devido aos seus constituintes e forma, é capaz de suportar o seu peso próprio e as solicitações fornecidas pela exposição ambiental.

Uma das características das coberturas inclinadas é a caracterização do desvão, e relacionada com esta está também a localização do isolamento térmico. O desvão de uma cobertura inclinada é o volume existente entre a cobertura e o teto do último andar do edifício, podendo ser classificado como desvão habitável ou desvão não habitável, e, neste último caso, distingue-se entre acessível e não acessível [31].

No que diz respeito à localização do isolamento térmico, considerando que se trata de um desvão habitável, este deve ser colocado segundo as vertentes da cobertura, em posição superior ou inferior às mesmas. A Figura 3.2 mostra a constituição, e localização do isolamento térmico, numa cobertura inclinada com desvão habitável.

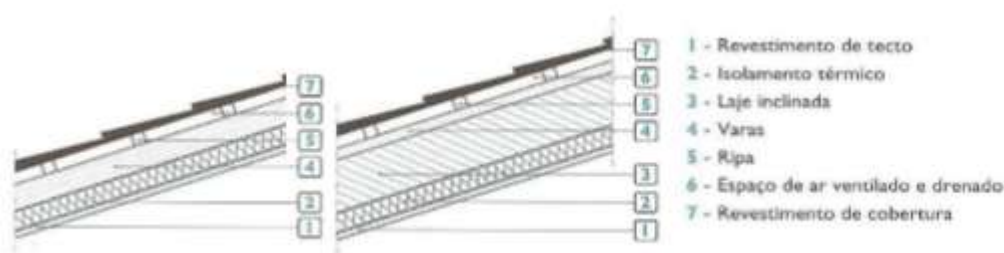


Figura 3.2 – Localização do isolamento térmico numa cobertura inclinada com desvão habitável [34]

No caso de desvão não habitável, é preferível a colocação do isolamento térmico segundo a laje de esteira, pois permite uma redução de área de aplicação do isolamento térmico, sendo economicamente benéfico. Em relação ao posicionamento do isolamento em relação à laje de esteira, é preferível o assentamento deste na zona superior, pois garante benefícios no comportamento térmico da envolvente, na medida que aumenta a inércia térmica [34]. Apesar do desvão ser não habitável, pode ser acessível, sendo necessária a colocação de um revestimento de piso. Esta solução encontra-se descrita na Figura 3.3.

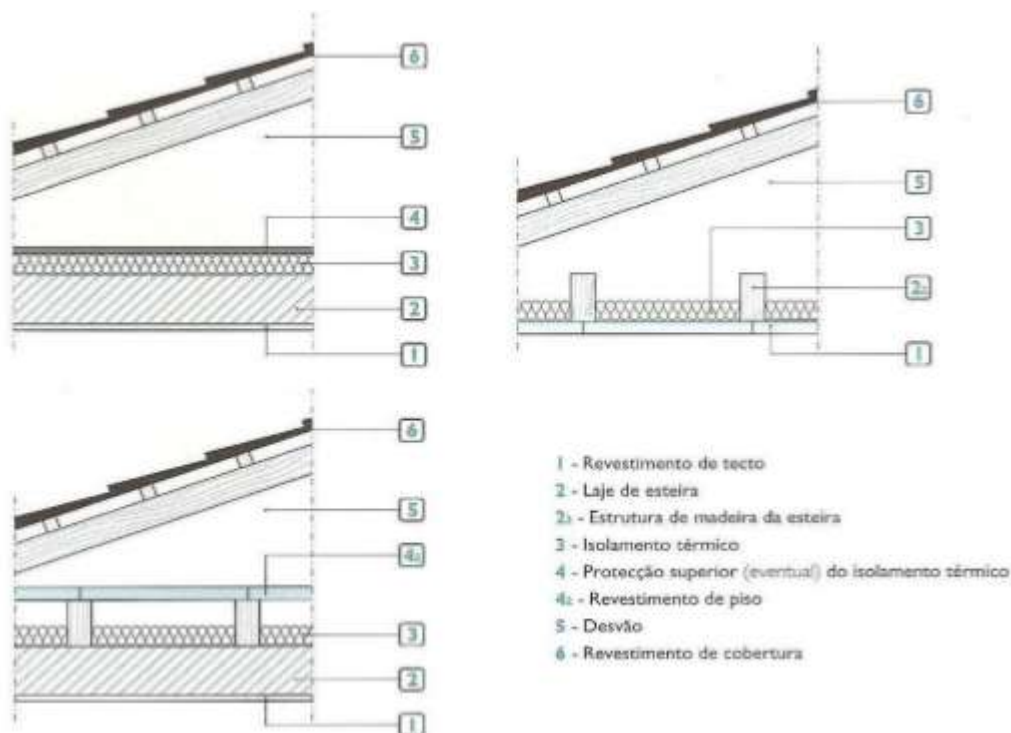


Figura 3.3 - Localização do isolamento térmico numa cobertura inclinada com desvão não habitável [34]

Para finalizar as coberturas inclinadas, estas são revestidas por elementos, que são fixados mecanicamente ou encaixados, que protegem a estrutura contra agentes externos, como a radiação solar, o vento e a chuva, podendo ser chapas ou telhas. A Tabela 3.6 indica quais os materiais utilizados em cada tipo de elemento. No entanto, o fibrocimento, utilizado nas chapas, não é recomendável, pois afeta a saúde pública.

Tabela 3.6 – Materiais mais utilizados nas coberturas inclinadas revestidas com chapa e com telha, adaptado de [30] [32]

Tipo de chapa	Telhas
Fibrocimento	Cerâmicas
	Aglomerado de cimento
	Ardósia
Metálicas	Betuminosas
	Aço

3.2.5. COBERTURAS COM PAINEL SANDWICH

Uma cobertura inclinada em painel sandwich possui uma inclinação superior a 5% e pode ser utilizada para pequenas e grandes inclinações. Em Portugal, esta cobertura é maioritariamente usada em coberturas de baixa inclinação. A utilização destes painéis vem substituir, a nível de reabilitação, as coberturas de chapas orgânicas (chapas de fibrocimento).

Este sistema pretende garantir um correto isolamento térmico da cobertura, aliando também factores de ordem estética e prática. Permite com apenas um material, aliar o conforto térmico, possuindo um isolamento térmico em poliestireno extrudido, a uma solução estética que permite ter vários acabamentos visíveis pelo interior da cobertura, tal como ilustra a Figura 3.4.

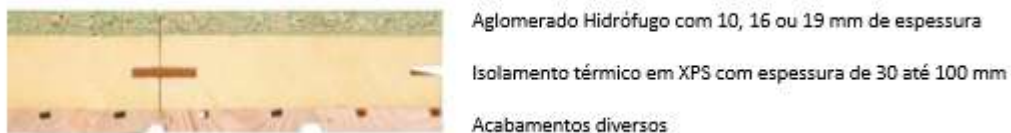


Figura 3.4 – Composição de um painel sandwich [35]

3.2.6. REABILITAÇÃO DE COBERTURAS

Quando os elementos da cobertura não permitem que esta cumpra as exigências funcionais da mesma, é necessário fazer intervenções para corrigir as anomalias existentes.

Na Tabela 3.7 estão indicadas algumas anomalias presentes nas coberturas, bem como quais as suas causas e medidas de intervenção nas mesmas.

Tabela 3.7 – Anomalias das coberturas, causas e medidas de intervenção, adaptado de [36], [37] e [38]

Anomalia	Causa	Intervenção
Degradação da madeira	Infiltrações Falta de ventilação por parte do telhado	Inserção de elementos estruturais novos Substituição integral dos elementos degradados
Apodrecimento ou ataque de insetos Xilófagos	Madeira seca atacada por carunchos ou teor de água superior a 20% para desenvolvimento de agentes biológicos	Substituição dos elementos degradados por outros novos, incluído tratamento contra o ataque de insetos xilófagos Reconstituição parcial dos elementos, incluído tratamento contra o ataque de insetos xilófagos
Incorreta inclinação	Deficiente conceção ou uso estrutural	Correção da geometria, obrigando à alteração e revisão de todos os remates e ligações Aplicação de medidas de impermeabilização e aumento da densidade das telhas ventiladoras, caso não seja possível respeitar a inclinação mínima Fixação mecânica dos elementos, se a inclinação for excessiva
Sobreposição das telhas	Espaçamento entre ripas desnivelado, exagerado ou reduzido	Levantamento e reposição das telhas por fixação mecânica, caso o espaçamento entre ripas seja desnivelado, exagerado ou reduzido e se a base de suporte for deficiente e a sua fixação ineficaz e/ou deteriorada com o tempo
Desalinhamento das fiadas das telhas	Base de suporte deficiente Deterioração da fixação dos elementos cerâmicos	Substituição dos elementos, se estes estiverem degradados
Deslizamento das telhas	Diferenças geométricas consideráveis	
Presença de musgo e vegetação pioneira	Porosidade da telha: conjugado com a permanente presença da água potencia o aparecimento destes agentes Insuficiente ventilação dos elementos Falta de manutenção	Limpeza com produto adequado, diretamente no telhado se a acumulação não for avançada Levantamento, limpeza e recolocação dos elementos se o estado de acumulação for elevado
Fratura das telhas	Utilização de argamassa com resistência elevada Falta de manutenção	Substituição dos elementos fraturados por elementos novos, verificando a forma de fixação dos mesmos
Corrosão dos materiais metálicos	Exposição ambiental	Substituição dos elementos afetados

3.3. FACHADAS

3.3.1. EVOLUÇÃO DAS FACHADAS EM PORTUGAL

As fachadas, tal como as coberturas, fazem parte da envolvente do edifício, estando, portanto, sujeitas a maiores degradações, devido às diversas ações externas. São também o elemento protetor do edifício, o qual permite conforto térmico e privacidade.

Ao longo dos anos houve uma evolução das fachadas, de maneira a responder às necessidades dos utilizadores do edifício e também de modo a cumprir a regulamentação existente, moldando-se sempre às exigências de cada época. A Figura 3.5 representa a evolução das fachadas em Portugal. Nas décadas de 50 e 60 foi introduzido o tijolo vazado nas soluções construtivas de paredes duplas.

Na década de 80, foi introduzido o isolamento térmico no interior das paredes duplas, assumindo uma importância considerável na conservação térmica do ambiente interior. A utilização de isolamento térmico pelo exterior da parede ou pelo interior do edifício, sendo este último aplicado maioritariamente em situações de reabilitação, faz com que a construção nova apresente características térmicas superiores na atualidade.

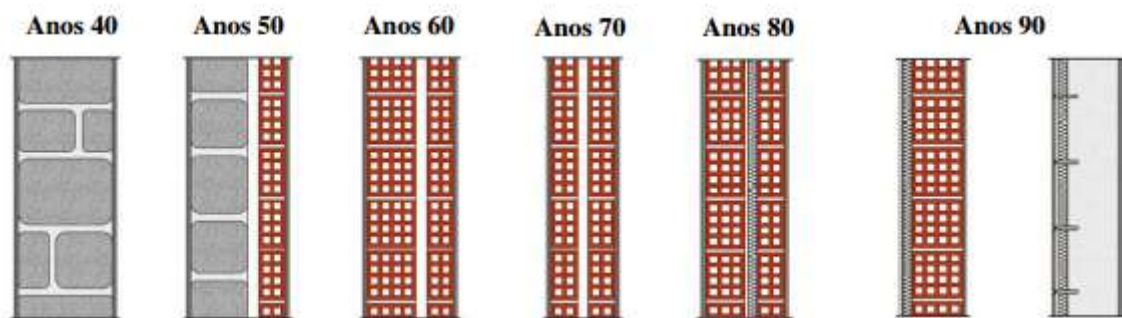


Figura 3.5 – Evolução das fachadas em Portugal [39]

3.3.2. REABILITAÇÃO DE FACHADAS

Uma das medidas para responder às exigências do conforto térmico é o reforço do isolamento térmico. Este reforço, sempre aliado ao mínimo consumo de energia e à proteção ambiental, pode ser caracterizado relativamente à posição do isolamento térmico:

- Isolamento térmico pelo exterior;
- Isolamento térmico pelo interior;
- Isolamento térmico na caixa-de-ar.

A aplicação de isolamento térmico pelo exterior mostra ser a melhor solução, quer do ponto de vista energético, quer do ponto de vista construtivo. No entanto, embora termicamente não seja uma solução tão eficaz, também se utiliza o isolamento térmico no interior de paredes duplas, funcionando, assim, o pano exterior como proteção mecânica. Na Figura 3.6 são apresentados dois esquemas, que mostram a localização do isolamento térmico no interior de uma parede dupla e no exterior de uma parede simples.

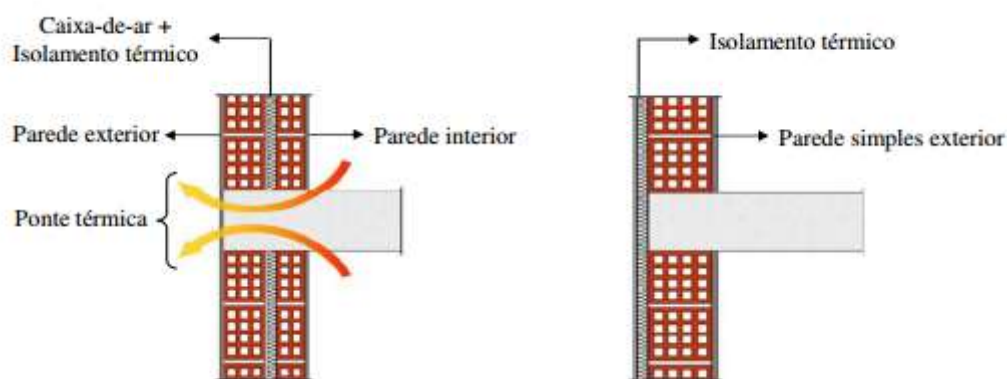


Figura 3.6 – Isolamento térmico aplicado na caixa-de-ar e aplicado pelo exterior [39]

Em relação à aplicação do isolamento térmico pelo exterior existem três tipos de soluções principais [40]:

- Revestimentos independentes com interposição de um isolante térmico no espaço de ar (Fachadas Ventiladas);
- Sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior (ETICS);
- Revestimentos isolantes (revestimentos prefabricados isolantes descontínuos e rebocos isolantes).

Na Figura 3.7 está representado um revestimento independente com interposição de um isolante térmico no espaço de ar, no qual é visível que o isolamento térmico se situa entre a parede e o revestimento, o qual o protege contra a ação de agentes atmosféricos. É uma solução que tem como objetivo evitar a penetração da humidade, na medida em que a existência de uma caixa-de-ar entre o isolamento e o revestimento permite uma ventilação natural e contínua, que faz com que a água infiltrada seja evaporada.



Figura 3.7 – Esquema de revestimento independente com interposição de isolamento térmico no espaço de ar [41]

Outra das soluções principais de isolamento térmico pelo exterior é o sistema ETICS - *External Thermal Insulation Composite System*, termo corrente utilizado para a solução de sistemas compósitos de isolamento térmico pelo exterior.

“Os sistemas ETICS mais frequentes no mercado português são constituídos por placas de poliestireno expandido (EPS), coladas ao suporte e revestidas com um reboco delgado, aplicado em várias camadas e armado com uma ou várias redes de fibra de vidro” [42], como ilustra a Figura 3.8.

A fibra de vidro tem uma função bastante importante neste tipo de solução, na medida em que, quando aplicada entre o revestimento, absorve as tensões instaladas, evitando, assim, o aparecimento de fissuras nas paredes, permitindo uma maior resistência.

Um dos benefícios da utilização deste sistema é a correção das pontes térmicas, pois, devido à continuidade do isolamento térmico, estas são reduzidas, bem como as perdas globais de calor, como ilustrado, anteriormente, na Figura 3.6.

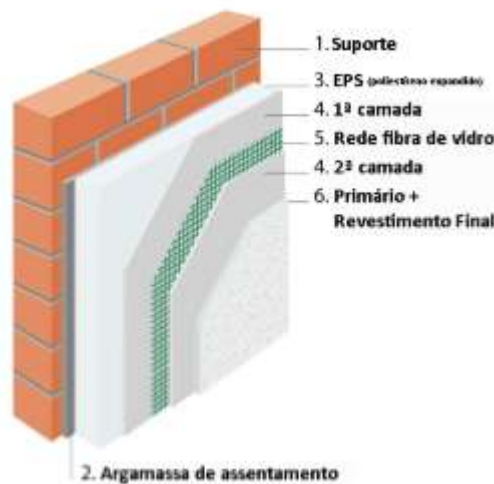


Figura 3.8 – Esquema do sistema ETICS [43]

Relativamente à aplicação do isolamento térmico pelo interior, este pode ser considerado quando não se pretenda alterar o aspeto exterior dos edifícios, ou sempre que compense a perda de espaço útil com as poupanças energéticas e benefícios ambientais que pressupõe a intervenção.

A aplicação do isolamento térmico na caixa-de-ar permite não só manter o aspeto exterior dos edifícios, como também o aspeto interior, na medida em que o isolamento é injetado. Esta injeção de isolamento só possível sempre que haja acessibilidade e sejam cumpridos os requisitos de segurança. No entanto, esta medida apresenta algumas limitações, relativamente ao preenchimento do isolamento térmico na caixa-de-ar, devido a ter espessura pequena ou apresentar-se parcialmente preenchida com argamassa ou detritos.

4

AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

4.1. ENQUADRAMENTO

A utilização adequada de materiais, produtos e tecnologias construtivas pode contribuir consideravelmente para um melhor desempenho ambiental de ciclo de vida de um edifício e, por conseguinte, para a sua sustentabilidade [1].

Com o aumento dos impactes ambientais na área da construção, é necessária a existência de um método que permita analisar o ciclo de vida dos produtos para, assim, haver uma melhor seleção, que conduza a uma maior eficiência ecológica.

É necessário, portanto, conhecer a durabilidade dos elementos e enquadrar este conceito, bem como a avaliação do seu ciclo de vida, para saber se estes satisfazem os requisitos de desempenho, aos quais devem obedecer.

4.2. OBJETIVO E PROPÓSITO

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), ou *Life Cycle Assessment* (LCA), permite quantificar os impactes ambientais associados a um determinado produto.

Segundo a norma ISO (*International Organization for Standardization*) 14040, ACV é a "compilação de avaliação das entradas, saídas e dos impactes ambientais potenciais de um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida" [44] [45], processo que consiste em avaliar um produto ou processo desde o seu momento inicial, ou seja, desde a extração de matérias-primas, até ao momento em que deixa de ter uso e é descartado, ou reciclado. Esta avaliação acompanha todas as etapas intermédias entre estes pontos, inicial e final.

Os procedimentos de ACV são parte da série da norma ISO 14000 de gestão ambiental: ISO 14040 e ISO 14044. O principal objetivo da ISO 14000 e das suas normas é garantir o equilíbrio e proteção ambiental, de maneira a prevenir a poluição e os potenciais problemas que esta poderia trazer para o ambiente, sociedade e economia [44] [45].

O desenvolvimento industrial e económico do mundo geram impactos ambientais que constituem um grande problema para autoridades e organizações ambientais, sendo, por isso, necessária a criação de normas com o propósito de reduzir o problema.

Foi na década de 1990 que a ISO viu a necessidade de se desenvolverem normas que falassem da questão ambiental e tivessem como propósito a padronização dos processos de empresas que utilizassem recursos tirados da natureza e/ou causassem algum dano ambiental decorrente de suas atividades.

Em 1993, foi criado um comité, Comité Técnico TC 207, com o objetivo de desenvolver normas (série 14000) em áreas envolvidas com o meio ambiente. O comité foi dividido em vários subcomités. O Subcomité 5 desenvolveu normas relativas à análise de ciclo de vida, ao processo criado, com o intuito de avaliar os impactes no meio ambiente e na saúde, provocados por um determinado produto, processo, serviço ou outra atividade económica [44] [45].

- ISO 14040: Estabelece as diretrizes e estrutura para a análise do ciclo de vida (criada em 1997).
- ISO 14041: Estabelece a definição do âmbito e análise do inventário do ciclo de vida (criada em 1998).
- ISO 14042: Estabelece a avaliação do impacto do ciclo de vida (criada em 2000).
- ISO 14043: Estabelece a interpretação do ciclo de vida (criada também em 2000).

Com a finalidade de facilitar a aplicação, as normas 14041, 14042 e 14043, foram reunidas em apenas dois documentos (14040 e 14044).

4.3. FASES DA ACV

4.3.1. ENQUADRAMENTO

Segundo as normas ISO 14040 e 14044, são quatro as fases que constituem a ACV, tal como ilustra a Figura 4.1, sendo estas interdependentes e o resultado de uma pode influenciar na execução da próxima e, até, corrigir esta, se necessário.

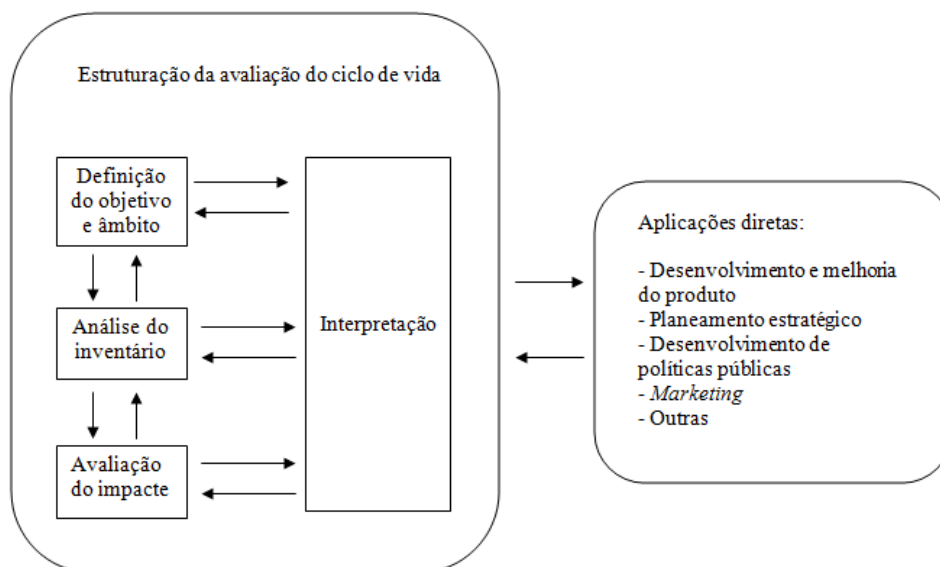


Figura 4.1 - Fases da ACV [44]

4.3.2. DEFINIÇÃO DE OBJETIVO E ÂMBITO

Nesta fase é feita uma definição explícita do objetivo e âmbito do estudo, na qual é determinado o seu contexto e feita uma explicação de como e para quem são efetuados os resultados.

Para relacionar os dados de entrada e saída, e, assim, estudar os resultados da metodologia, utiliza-se a unidade funcional e os processos a serem incluídos no sistema são definidos pela fronteira do sistema.

4.3.3. INVENTÁRIO DO CICLO DE VIDA (ICV)

Nesta fase, é feito um inventário, uma quantificação, de todas as variáveis envolvidas no estudo, como, por exemplo, matéria-prima, transporte, energia, emissões para o ar, resíduos, entre outros. Ou seja, os dados necessários para atingir os objetivos estipulados na primeira fase. Segundo a *International Organization for Standardization*, é a “fase da avaliação do ciclo de vida que envolve a compilação e quantificação de entradas e saídas para um sistema de produto ao longo do seu ciclo de vida” [44] [45].

O processo de realização de um inventário do ciclo de vida é um processo iterativo. À medida que são recolhidos novos dados e o conhecimento sobre o sistema é maior, podem ser identificados novos requisitos ou limitações que obriguem a uma mudança de procedimento, de forma a alcançar os objetivos estipulados na etapa anteriormente referida. Pode ainda ser necessário, por vezes, ser alterado o objetivo e âmbito do estudo. As diversas etapas do ICV são apresentadas na Figura 4.2.

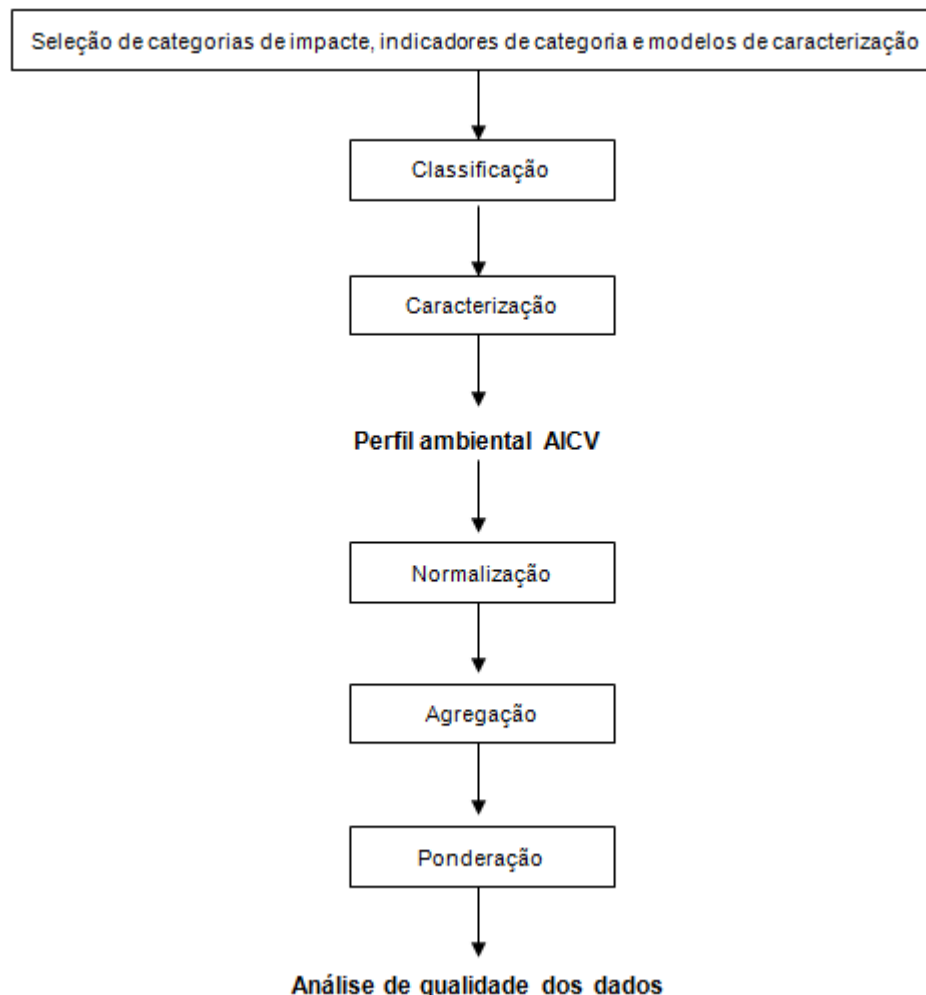


Figura 4.2 – Etapas do ICV, adaptado de [46]

4.3.4. AVALIAÇÃO DE IMPACTE DO CICLO DE VIDA

4.3.4.1. Objetivo

Esta etapa é realizada com o objetivo de avaliar os potenciais impactes ambientais, através dos dados recolhidos na análise do inventário do ciclo de vida.

4.3.4.2. Categorias de impacte ambiental a adotar

A Tabela 4.1 indica quais as categorias de impacte ambiental a adotar nesta dissertação.

Tabela 4.1 – Indicadores de Impacte Ambiental considerados na base de dados LCA [1]

Impactes ambientais expressos em categorias de LCA	Impactes ambientais baseados em dados de inventário do ciclo de vida (LCI), mas não expressos em categorias de LCA
Esgotamento de recursos abióticos (ADP)	Utilização de energia primária não renovável (ENR)
Potencial de Aquecimento Global, expresso em termos de emissões de gases com efeito de estufa (GWP)	Utilização de energia primária renovável (ER)
Destruição da camada de ozono estratosférico (ODP)	
Acidificação do solo e dos recursos hídricos (AP)	
Formação de ozono troposférico, expresso em oxidantes fotoquímicos (POCP)	
Eutrofização (EP)	

4.3.5. INTERPRETAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Nesta fase são combinados os resultados da análise do inventário e da avaliação do impacto do ciclo de vida, de maneira a obter conclusões e uma descrição dos resultados de forma coerente.

4.3.6. VARIANTES DA ACV

A avaliação do ciclo de vida apresenta três variantes, em função das suas fases que são estudadas [45]:

- ***Cradle-to-grave*** (“do berço ao túmulo”): Análise feita desde a extração das matérias-primas (berço) até à fase de deposição (túmulo).
- ***Cradle-to-gate*** (“do berço à porta”): Inclui os processos desde a extração até à porta da fábrica, ao consumidor final.
- ***Cradle-to-cradle*** (“do berço ao berço”): É uma variante da análise *cradle-to-grave*, na qual a última etapa corresponde a um processo de reciclagem.

4.3.7. QUANTIFICAÇÃO DAS CATEGORIAS DE IMPACTE AMBIENTAL

As categorias de impacto ambiental utilizadas nesta dissertação são as mesmas utilizadas por Mateus e Bragança e na Tabela 4.2 estão descritas as mesmas, bem como quais as unidades em que são expressas.

Tabela 4.2 – Categorias de impacto ambiental a adotar [16]

Categorias de impacto ambiental		Descrição	Unidade
ADP	Potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos	Avaliação da preservação dos ecossistemas e exploração de recursos naturais existentes na terra, mar ou atmosfera, incluindo combustíveis fósseis. Exprime-se em quilogramas de antimónio (Sb) equivalentes por quilograma (kg) de recurso extraído.	Kg Sb eq
GWP	Potencial de Contribuição Aquecimento Global	Análise da emissão de gases de efeito de estufa para a atmosfera para um horizonte de tempo de 100 anos (GWP100), e incorpora a escala temporal para remoção da substância da atmosfera. Exprime-se em quilogramas equivalentes de dióxido de carbono (CO ₂) por quilograma (kg) de emissão libertada para a atmosfera	Kg CO ₂ eq
ODP	Potencial de destruição da camada de ozono	Avalia a quantidade de radiação de UV-V que atinge a superfície terrestre e destrói a camada de ozono estratosférico, com impactos vários incluindo a afetação da durabilidade e desempenho dos materiais de construção. Expressa-se em quilogramas equivalentes de triclorofluormetano (CFC-11) por quilograma de emissão numa escala de tempo infinita	Kg CFC ⁻¹¹ eq
AP	Potencial de acidificação	Avalia a quantidade de emissões de amónia (NH ₃), dióxido de enxofre (SO ₂), e óxido de azoto (NO _x) que se convertem em compostos acidificantes, formando partículas ácidas ou chuvas ácidas. Expressa-se em quilogramas equivalentes de SO ₂ por cada quilograma de emissões para a atmosfera.	Kg SO ₂ eq
POCP	Potencial de formação de ozono troposférico	Avalia a oxidação fotoquímica, resultante da ação da radiação ultravioleta sobre óxidos de azoto (NO _x), monóxido de carbono (CO) e compostos orgânicos voláteis (COV's). Expressa-se em quilogramas equivalentes de etileno (C ₂ H ₄) por quilograma de emissão.	Kg C ₂ H ₄ eq

Tabela 4.3 – Categorias de impacto ambiental a adotar [16] (continuação)

Categorias de impacto ambiental		Descrição	Unidade
EP	Potencial de eutrofização	Associado às emissões de azoto (N) e fósforo (P), resultando em fertilização excessiva de ecossistemas. Expressa-se em quilogramas equivalentes de fosfato (PO ₄) por quilograma de emissão.	Kg PO ₄ eq
ENR	Energia não renovável incorporada	Avaliação do contributo do ciclo de vida do produto para o esgotamento dos recursos energéticos não renováveis, através da análise do consumo de energia não renovável, fóssil e nuclear. Expressa-se em equivalentes de megajoules (MJ).	MJ eq
ER	Energia renovável incorporada	Avalia a utilização de energia renovável em detrimento de fontes não renováveis associado às fases do ciclo de vida do produto, sendo um indicador com impacto ambiental positivo. Expressa-se em equivalentes de megajoules (MJ).	MJ eq

4.4. LIMITAÇÕES E BENEFÍCIOS DA ACV

A técnica de gestão ambiental abordada nesta dissertação pode ajudar na identificação de oportunidades que melhorem os aspetos ambientais dos produtos em diversas fases do seu ciclo de vida. Para que tenha sucesso, é essencial que mantenha a sua credibilidade técnica ao mesmo tempo que proporciona flexibilidade e efetividade de custo na sua aplicação [46].

As metodologias LCA avaliam a componente ambiental, através da análise do desempenho das soluções ao nível de algumas categorias de impacto ambiental. No entanto, na maior parte das vezes, não abordam as outras dimensões da sustentabilidade, ou seja, as componentes sociais e económicas, havendo, no entanto, metodologias mais complexas que abordam a componente económica.

É importante saber quais as limitações presentes na metodologia [46]:

- As suposições feitas na ACV, como a definição da fronteira do sistema, seleção de fontes de dados e categorias de impacto, podem ser subjetivas.
- Os modelos usados para análise de inventário ou para avaliação de impactos ambientais podem não estar disponíveis para todos os impactos potenciais ou aplicações.
- A exatidão dos estudos pode ser limitada pela disponibilidade de dados pertinentes ou qualidade dos dados.

4.4. FERRAMENTAS PARA ACV

Na Tabela 4.4 estão indicadas algumas ferramentas de apoio à metodologia ACV, de maneira a facilitar o trabalho na metodologia, na medida em que esta se trata de um trabalho complexo, com uma enorme quantidade de dados.

Tabela 4.4 – Ferramentas para ACV, adaptado de [43] [47]

Ferramenta	Descrição
SimaPro	Desenvolvido pela empresa <i>Pre Consultants</i> , esta ferramenta permite analisar e monitorizar o desempenho ambiental dos produtos, processos e serviços, bem como modelizar e analisar ciclos de vida complexos, de forma sistemática e transparente, seguindo os critérios da norma ISO 14040. É possível analisar todas as fases do ciclo de vida de um dado material, incluindo a extração de matérias-primas, transportação, construção, uso e manutenção, substituições, demolição, reciclagem e eliminação.
Gabi	Desenvolvido pela <i>PE INTERNATIONAL</i> , tem como objetivo elaborar avaliações de ciclo de vida, suportando grandes quantidades de dados. Determina avaliações de diferentes tipos e ajuda a agregar os resultados.
Open LCA	A boa visualização dos fluxos da cadeia produtiva e a fácil inserção de dados nos processos elementares são duas das características desta ferramenta. Também é um software onde é simples de se fazer a exportação dos dados, pois cada processo pode ser exportado individualmente. Outra vantagem é que permite a importação de bancos de dados nos formatos mais utilizados: EcoSpold 1 e 2, ILCD, Excel e SimaPro CSV e a exportação nos formatos EcoSpold 2 e ILCD.

5

CASO DE ESTUDO

5.1. APRESENTAÇÃO DO EDIFÍCIO

Nesta dissertação é apresentado um edifício, como caso de estudo, no qual é aplicada a metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida e analisados os seus resultados.

O caso de estudo escolhido é um edifício, já considerado como um edifício histórico, no qual será feita uma intervenção de reabilitação em grande parte da sua envolvente, devido à degradação do mesmo, tal como mostra a Figura 5.1.



Figura 5.1 - Edifício sem intervenção

Situado no concelho da Póvoa de Varzim, este caso de estudo tem como objetivo futuro apresentar condições para funcionar como um hostel. Conta com um piso térreo e um piso elevado, e as intervenções realizadas serão focadas na cobertura, pavimentos e paredes, interiores e exteriores.

A Figura 5.2 mostra o aspeto que se espera do edifício, após as intervenções de reabilitação nele efetuadas.



Figura 5.2 - Edifício após a intervenção

Todas as fotografias e elementos, referentes ao caso de estudo, analisados nesta dissertação foram disponibilizados pelo projetista, bem como as plantas e cortes do edifício que se encontram no Anexo A1, Anexo A2, Anexo A3 e Anexo A4.

5.2. APRESENTAÇÃO DAS SOLUÇÕES CONSTRUTIVAS

5.2.1. COBERTURAS

5.2.1.1. Considerações iniciais

Em relação às coberturas, neste caso de estudo são analisados dois tipos de cobertura, referidos no subcapítulo 3.2. A cobertura inclinada e a cobertura plana, na qual esta última é destinada a um espaço de lazer, um terraço, revestido com cerâmica a imitar *deck* de madeira.

Para melhor estudar as soluções construtivas, serão analisados alguns pormenores, correspondentes a cada um dos tipos de coberturas referidos anteriormente. Os pormenores estão identificados na planta do edifício, no Anexo A5.

A Figura 5.3 mostra o aspeto da cobertura sem qualquer tipo de intervenção. Consiste numa estrutura de madeira na qual são aplicadas as telhas cerâmicas.



Figura 5.3 – Cobertura sem intervenção

5.2.1.2. Cobertura plana ou em terraço

A Figura 5.4 mostra os constituintes da cobertura plana, ou terraço. Neste pormenor construtivo é possível ver todos os materiais utilizados e a sua disposição. Consiste na aplicação de uma laje aligeirada, seguida de uma camada de forma com pendente igual a 1%. Segue-se uma tela asfáltica como material de impermeabilização, que se situa sob a camada de regularização, sobre a qual é aplicado o revestimento cerâmico a imitar *deck* de madeira. Esta análise mostra que se trata de uma cobertura tradicional, pois o isolamento térmico encontra-se sob a camada de impermeabilização.

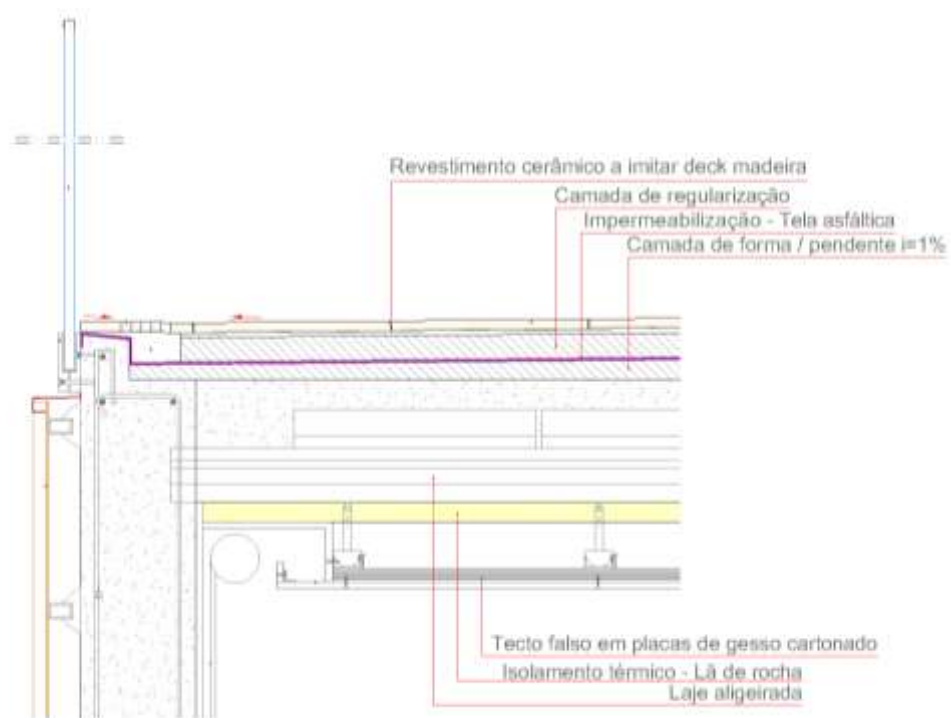


Figura 5.4 - Pormenor construtivo da cobertura plana (P1)

5.2.1.3. Cobertura inclinada

No caso de estudo são apresentadas três coberturas inclinadas, que diferem em relação ao tipo de revestimento, pois uma é revestida a chapa metálica, e duas revestidas a telha cerâmica. A Figura 5.5 representa a cobertura revestida a chapa metálica e uma das coberturas revestidas a telha cerâmica.

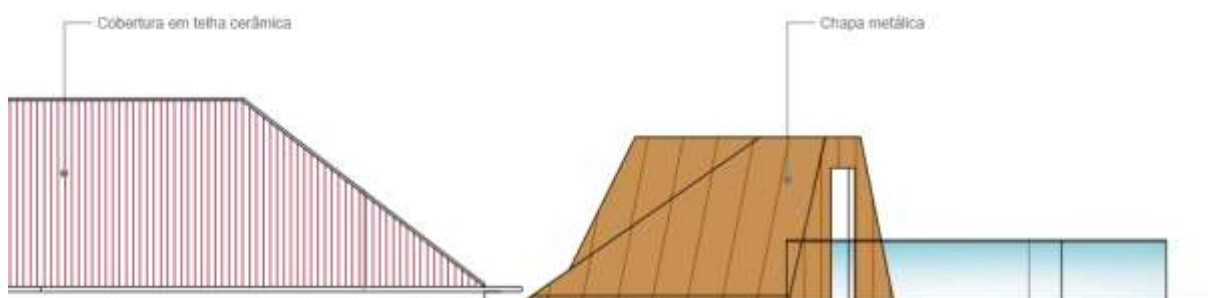


Figura 5.5 – Coberturas inclinadas previstas

Em relação às coberturas inclinadas, estas podem ser diferenciadas segundo o desvão e localização do isolamento térmico, tal como foi referido, anteriormente, no capítulo 3.

Na Figura 5.6 é apresentada uma solução de uma cobertura inclinada revestida a telha cerâmica. Esta cobertura possui o isolamento térmico, lã de rocha, colocado na vertente da cobertura, devido ao facto de o desvão ser habitável, o qual é colocado sob a laje aligeirada. É aplicada a telha cerâmica, sobre um ripado de madeira e utilizada uma tela asfáltica.

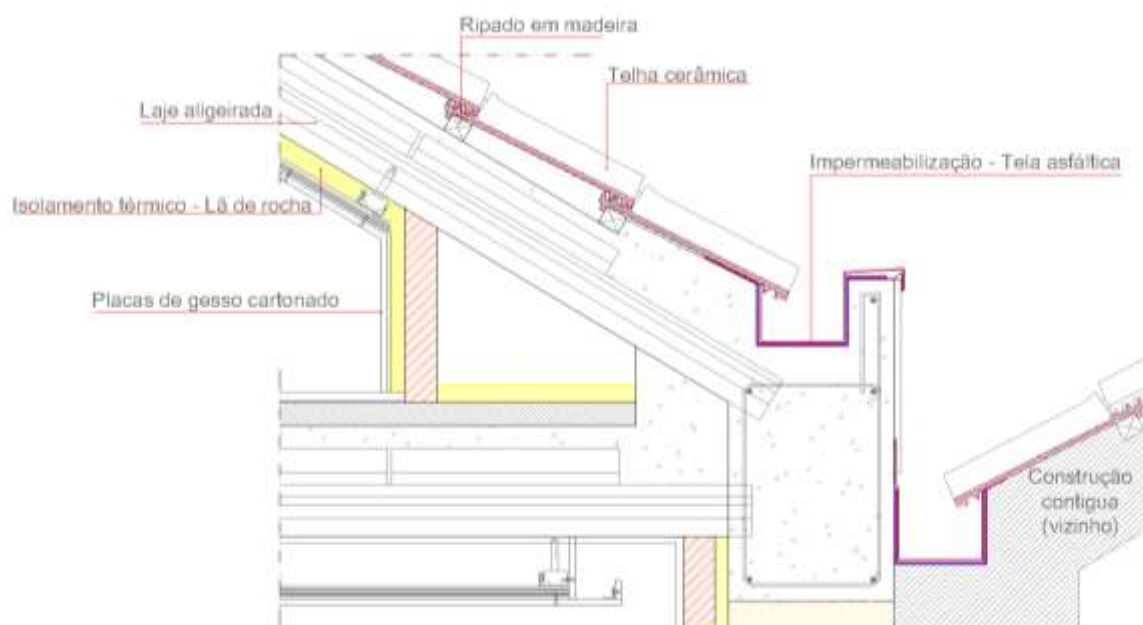


Figura 5.6 - Pormenor construtivo da cobertura inclinada revestida a telha cerâmica (P2)

Na Figura 5.7 é visível a disposição dos materiais construtivos da cobertura inclinada revestida com chapa metálica. O isolamento térmico, lã de rocha, é colocado sob a laje aligeirada inclinada. Sobre esta laje são colocados os elementos de fixação da chapa metálica, havendo um espaço de ar ventilado e drenado entre estes, de maneira a evitar a degradação dos materiais. Tratando-se de uma cobertura com desvão habitável, o isolamento térmico deve ser colocado na vertente inclinada.

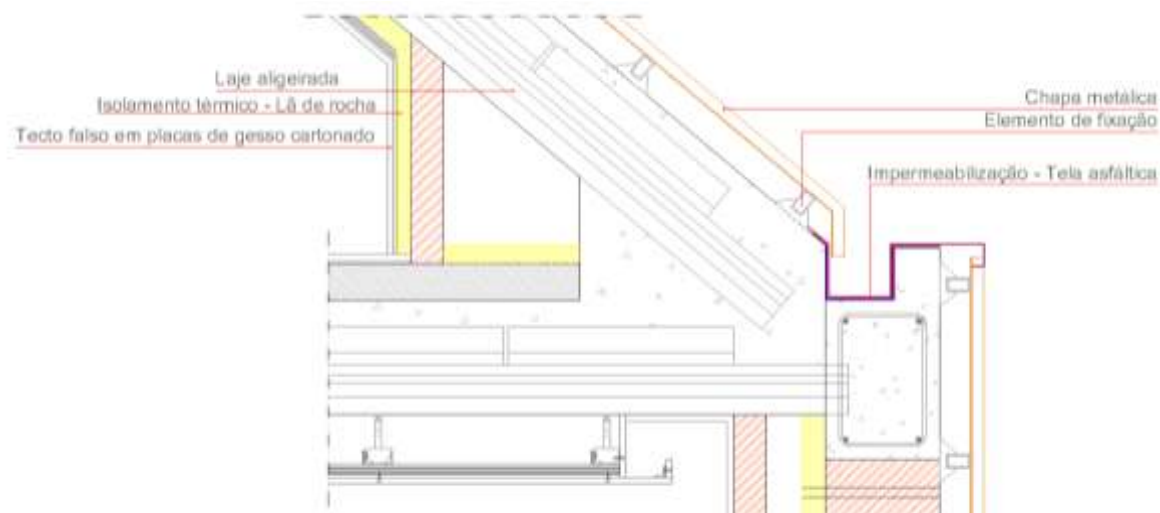


Figura 5.7 - Pormenor construtivo da cobertura inclinada revestida a chapa metálica (P3)

Na Figura 5.8 é possível ver a descrição construtiva de uma cobertura inclinada, com revestimento a telha cerâmica, na qual é utilizado um painel *sandwich* ONDUTHERM. A telha cerâmica é aplicada sobre o ripado em madeira, tal como na cobertura revestida a telha cerâmica anteriormente descrita, sob o qual está colocado um vigamento secundário em madeira. Entre este vigamento secundário e o vigamento principal está o painel *sandwich*.

A utilização deste painel assenta na sua fácil aplicação, contemplando no seu núcleo isolamento térmico em poliestireno extrudido.

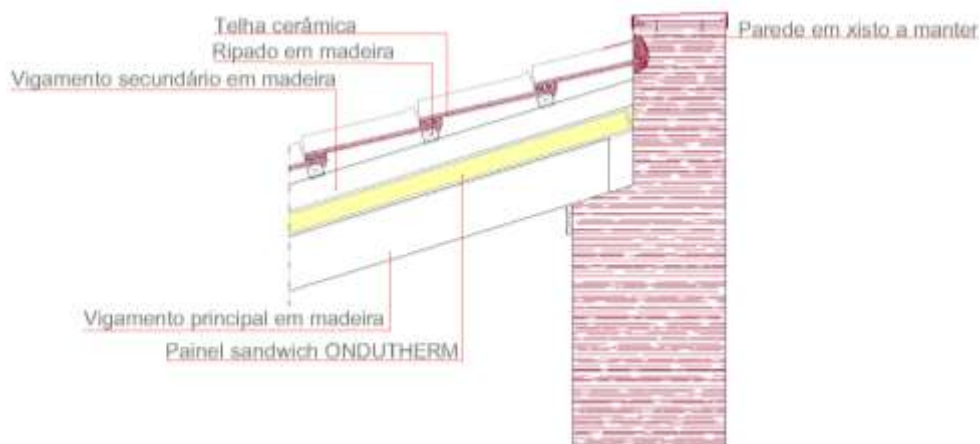


Figura 5.8 - Pormenor construtivo da cobertura inclinada revestida a telha cerâmica com painel *sandwich* (P4)

5.2.2. FACHADAS

Na Figura 5.9 é possível ver a constituição da parede exterior. Trata-se de uma parede dupla com um pano exterior em alvenaria de tijolo vazado de 15 cm e um pano interior em alvenaria de tijolo vazado de 11 cm. Os panos encontram-se separados por uma caixa-de-ar com 8 cm de espessura, parcialmente preenchida com isolante térmico em placas de poliestireno expandido com 4 cm de espessura e fixado ao pano interior. O paramento interior encontra-se revestido com reboco tradicional com espessura de 1,5 cm.

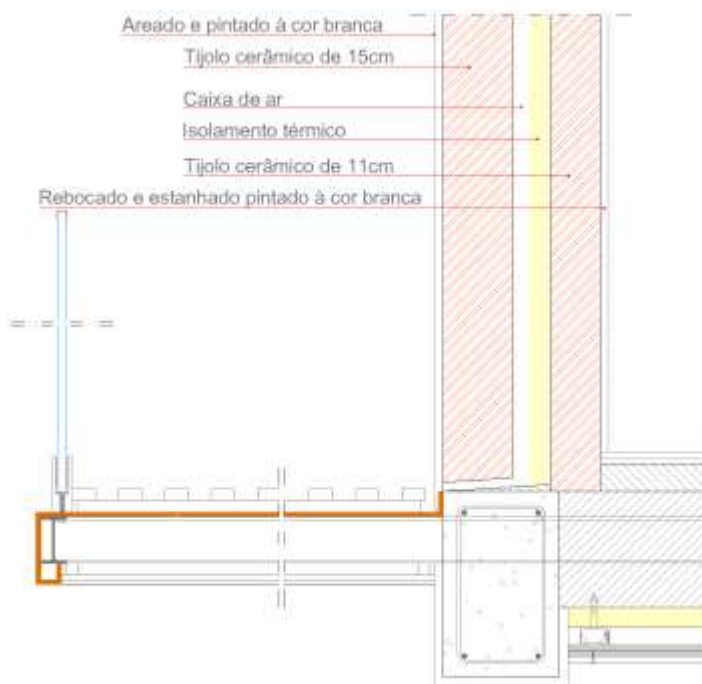


Figura 5.9 – Pormenor da parede exterior (P5)

No pormenor da Figura 5.10 está apresentada uma solução referente a uma parede exterior, neste caso sobre uma parede existente, a qual está em contacto com a parede da construção contígua. Trata-se da aplicação de placas de isolamento térmico, seguidas de tijolo cerâmico, finalizadas com reboco e estanhado pintado à cor branca.



Figura 5.10 – Pormenor da parede contígua (P6)

Nos pormenores da Figura 5.11 e da Figura 5.12 serão analisadas três zonas dos mesmos, para ver qual a diferença de impacto consoante a alteração dos elementos, diferença de espessura ou remoção de algum destes.

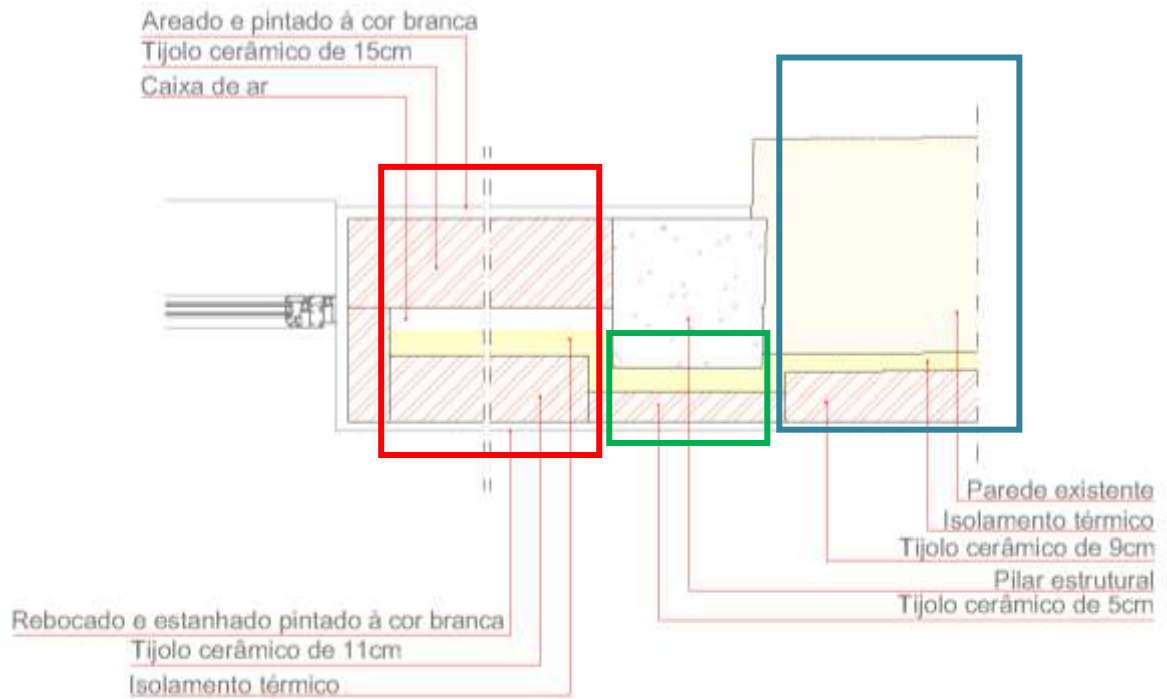


Figura 5.11 – Pormenor de uma ligação das novas paredes com as pré-existent (P7)

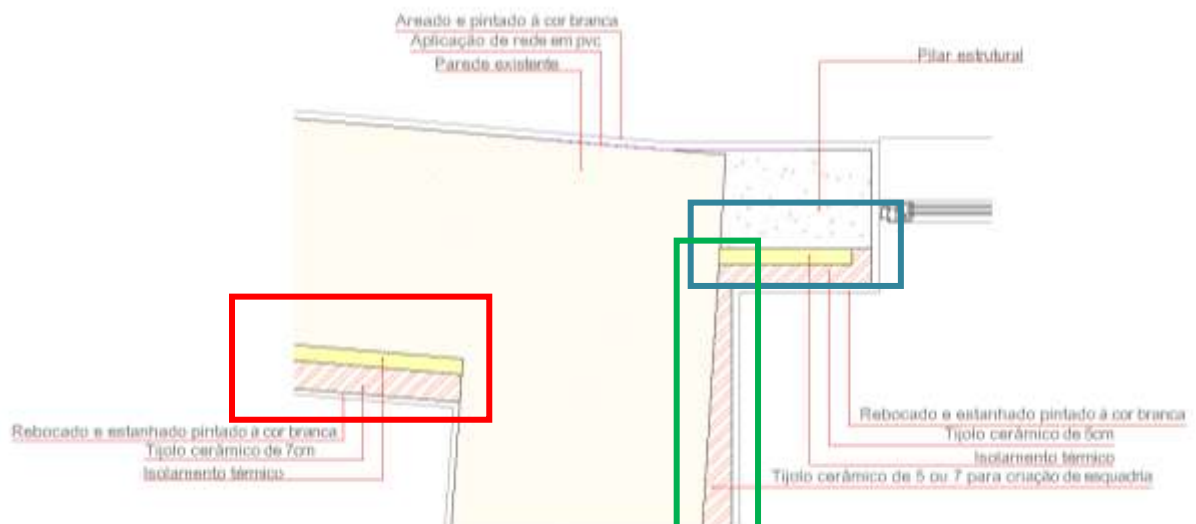


Figura 5.12 - Pormenor de uma articulação das novas paredes com as pré-existent (P8)

5.3. APLICAÇÃO DA ACV AO CASO DE ESTUDO

5.3.1. TRATAMENTO DE DADOS

Para chegar a um resultado coerente, e ser possível trabalhar com unidades diferentes, é necessário adotar uma unidade, para que todos os valores respeitem os mesmos critérios, considerando:

Materiais de construção: 1Kg

Soluções construtivas: 1 m² de área

5.3.2. COBERTURAS

5.3.2.1. Materiais utilizados

Quando uma determinada solução construtiva não está disponível na base de dados relativa a soluções construtivas correntes, é possível estimar os valores das categorias de impacto ambiental, através da base de dados de materiais.

Da Tabela 5.1 à Tabela 5.4 são apresentados quais os materiais utilizados em cada tipo de cobertura para, assim, quantificar as categorias de impactos ambientais associadas a estes.

Tabela 5.1- Materiais utilizados na cobertura plana

Camada	Material
Revestimento da Cobertura	Revestimento cerâmico a imitar madeira <i>deck</i>
Camada regularização	Argamassa
Impermeabilização	Tela asfáltica
Camada de forma	Betão leve com poliestireno expandido
Laje	Laje aligeirada
Isolamento térmico	Lã de rocha
Teto falso	Placas de gesso cartonado

Tabela 5.2 - Materiais utilizados na cobertura inclinada revestida a telha cerâmica

Camada	Material
Revestimento da Cobertura	Telha cerâmica
Suporte do revestimento	Madeira
Isolamento térmico	Lã de Rocha
Laje	Laje aligeirada
Impermeabilização	Tela asfáltica
Teto falso	Placas de gesso cartonado

Tabela 5.3 - Materiais utilizados na cobertura inclinada revestida a chapa metálica

Camada	Material
Revestimento da Cobertura	Chapa metálica em zinco
Suporte do revestimento	Elementos de fixação em ferro
Impermeabilização	Tela asfáltica
Laje	Laje aligeirada
Isolamento térmico	Lã de Rocha
Teto	Placas de gesso cartonado

Tabela 5.4 - Materiais utilizados na cobertura inclinada com painel *sandwich* ONDUTHERM

Camada	Material
Revestimento da Cobertura	Telha cerâmica
Suporte do revestimento	Madeira
Vigamento secundário	Madeira
Painel sandwich	Aglomerado hidrófugo
	Poliestireno extrudido
	Painéis de OSB
Vigamento principal	Madeira

5.3.2.1. Propriedades dos elementos

Para ser possível a aplicação do método ACV, é necessário que haja uma conversão dos valores das massas dos materiais, pois os valores das categorias de impacto ambiental anteriormente apresentados estão expressos em Kg de material e no processo de cálculo estas categorias vêm por m² de elemento construtivo. Para conseguir esta conversão, é necessário conhecer as propriedades dos materiais utilizados [48], apresentados desde a Tabela 5.5 à Tabela 5.8. Os valores das espessuras de cada elemento das soluções construtivas foram obtidos com recurso ao software Autocad.

Tabela 5.5 - Propriedades dos elementos a utilizar na cobertura plana

	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura	Massa por m ² de cobertura
	[W/ (m°C)]	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
Argamassa (regularização)	1,3	2000	0,05	100
Betão leve com argila expandida		1600	0,035	56
Cerâmica	0,34	1000	0,02	20
Lã de rocha	0,04	100	0,04	4
Betume asfáltico	0,7	2100	0,004	8,4
Placas de gesso cartonado	0,25	750	0,027	20,25

Tabela 5.6 - Propriedades dos elementos a utilizar na cobertura inclinada revestida a telha cerâmica

	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura	Massa por m ² de cobertura
	[W/ (m°C)]	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
Lã de rocha	0,04	100	0,043	4,3
Madeira serrada densa	0,23	800	0,04	32
Betume asfáltico	0,7	2100	0,004	8,4
Placas de gesso cartonado	0,25	750	0,04	30
Telha cerâmica	0,5	1400	0,012	16,8

Tabela 5.7 - Propriedades dos elementos a utilizar na cobertura inclinada revestida a chapa metálica

	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura	Massa por m ² de cobertura
	[W/ (m°C)]	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
Betume asfáltico	0,7	2100	0,004	8,4
Ferro	80,2	7874	0,0655	515,747
Lã de rocha	0,04	100	0,043	43
Placas de gesso cartonado	0,25	750	0,04	30
Zinco	116	7140	0,027	192,78

Tabela 5.8 - Propriedades dos elementos a utilizar na cobertura inclinada com painel *sandwich*

	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura	Massa por m ² de cobertura
	[W/ (m°C)]	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
Aglomerado hidrófugo	0,13	700	0,01	7
Madeira serrada densa	0,23	800	0,29	232
OSB	0,13	620	0,01	6,2
Poliestireno extrudido	0,034	35	0,06	2,1
Telha cerâmica	0,5	1400	0,012	16,8

5.3.2.1. Quantificação das categorias de impactes ambientais dos materiais

Os valores apresentados na Tabela 5.9 foram retirados da base de dados ACV e expressam os impactes *cradle-to-gate* associados à produção de 1Kg de material. Os valores referentes à laje aligeirada foram obtidos através de uma relação existente com uma das soluções apresentadas na base de dados ACV [1]. A partir de uma solução construtiva, foram retirados os valores dos elementos existentes; exceto da laje aligeirada, para, assim conseguir saber quais os valores desta.

Depois de conhecer a quantidade de materiais por m², é possível fazer uma conversão dos valores das categorias de impacto ambiental, multiplicando os valores das massas por m² de cobertura pelos valores das categorias de impacto ambiental apresentados na Tabela 5.9.

A Tabela 5.10, Tabela 5.11, Tabela 5.12, e Tabela 5.13 expressam os valores de quantificação das categorias de impacto ambiental de ACV por m² de material, referentes a cada tipo de cobertura.

Tabela 5.9 – Impactes associados à produção de 1Kg de material [1]

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP (Kg Sb)	GWP (Kg CO ₂)	ODP (Kg CFC-11)	AP (Kg SO ₂)	POCP (Kg C ₂ H ₄)	EP (KgPO ₄)	ENR (MJ)	ER (MJ)
Aglomerado de madeira e cimento	5,21E-04	-3,27E-02	5,97E-09	3,10E-04	1,40E-05	4,33E-05	1,21E+00	2,08E+00
Argamassa	4,90E-04	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	2,10E-01
Betão armado	6,08E-04	1,48E-01	3,55E-09	5,56E-04	5,28E-05	5,76E-05	1,24E+00	7,39E-03
Betão leve	2,14E-03	4,29E-01	3,74E-08	2,75E-03	1,14E-04	1,62E-04	4,94E+00	1,60E-01
Betume asfáltico	2,35E-02	5,81E-01	7,27E-07	1,94E-03	1,98E-04	3,02E-04	5,33E+01	9,73E-02
Cerâmica	6,30E-03	7,63E-01	8,16E-08	2,93E-03	1,36E-04	2,75E-04	1,40E+01	3,64E-01
Chapa de zinco	1,75E-02	2,46E+00	1,37E-07	4,02E-02	1,44E-03	2,41E-03	2,84E+03	5,60E-01
Ferro	1,39E-02	1,50E+00	5,04E-08	5,77E-03	8,73E-04	6,52E-04	2,44E+01	5,70E-01
Lã de Rocha	1,05E-02	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01
Madeira	1,02E-03	1,20E+00	1,28E-08	8,05E-04	7,29E-05	1,29E-04	1,98E+00	1,58E+01
Painéis de OSB	5,33E-03	-9,09E-01	2,15E-08	2,36E-03	3,00E-04	3,51E-04	1,08E+01	2,17E+01
Placas de gesso cartonado	2,48E-03	3,50E-01	3,89E-08	1,09E-03	4,69E-05	1,73E-04	5,74E+00	3,21E-01
Poliestireno extrudido	4,09E-02	9,60E+00	1,64E-04	1,53E-02	8,48E-04	1,19E-03	9,24E+01	1,02E+00
PVC	2,26E-02	1,97E+00	2,84E-09	5,35E-03	3,12E-04	7,60E-04	4,69E+01	9,34E-01
Telha cerâmica	6,58E-03	8,16E-01	8,41E-08	2,90E-03	1,55E-04	2,85E-04	1,46E+01	7,41E-01

Tabela 5.10 - Quantificação das categorias de impacto ambiental na cobertura plana

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	(Kg Sb)	(Kg CO ₂)	(Kg CFC-11)	(Kg SO ₂)	(Kg C ₂ H ₄)	(KgPO ₄)	(MJ)	(MJ)
Argamassa	4,90E-02	1,95E+01	8,00E-07	3,15E-02	1,29E-03	4,87E-03	1,31E+02	2,10E+01
Betão leve	1,20E-01	2,40E+01	2,09E-06	1,54E-01	6,38E-03	9,07E-03	2,77E+02	8,96E+00
Cerâmica	1,26E-01	1,53E+01	1,63E-06	5,86E-02	2,72E-03	5,50E-03	2,80E+02	7,28E+00
Lã de Rocha	4,20E-02	5,84E+00	2,44E-07	3,33E-02	3,71E-03	1,78E-03	8,64E+01	3,92E+00
Laje aligeirada	7,73E-01	1,66E+02	1,17E-05	7,85E-01	3,71E-02	6,45E-02	1,52E+03	2,79E+01
Betume asfáltico	1,97E-01	4,88E+00	6,11E-06	1,63E-02	1,66E-03	2,54E-03	4,48E+02	8,17E-01
Placas de gesso cartonado	5,02E-02	7,09E+00	7,88E-07	2,21E-02	9,50E-04	3,50E-03	1,16E+02	6,50E+00
Impacte ambiental total	1,36E+00	2,42E+02	2,33E-05	1,10E+00	5,38E-02	9,18E-02	2,85E+03	7,64E+01

Tabela 5.11 - Quantificação das categorias de impacto ambiental na cobertura inclinada revestida a telha cerâmica

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	(Kg Sb)	(Kg CO ₂)	(Kg CFC-11 ¹)	(Kg SO ₂)	(Kg C ₂ H ₄)	(KgPO ₄)	(MJ)	(MJ)
Betume asfáltico	1,97E-01	4,88E+00	6,11E-06	1,63E-02	1,66E-03	2,54E-03	4,48E+02	8,17E-01
Lã de Rocha	4,52E-02	6,28E+00	2,62E-07	3,58E-02	3,99E-03	1,92E-03	9,29E+01	4,21E+00
Laje aligeirada	5,88E-01	1,26E+02	8,86E-06	5,96E-01	2,82E-02	4,90E-02	1,15E+03	2,12E+01
Madeira serrada densa	3,26E-02	-3,84E+01	4,10E-07	2,58E-02	2,33E-03	4,13E-03	6,34E+01	5,06E+02
Placas de gesso cartonado	7,44E-02	1,05E+01	1,17E-06	3,27E-02	1,41E-03	5,19E-03	1,72E+02	9,63E+00
Telha cerâmica	1,11E-01	1,37E+01	1,41E-06	4,87E-02	2,60E-03	4,79E-03	2,45E+02	1,24E+01
Impacte ambiental total	1,05E+00	1,23E+02	1,82E-05	7,56E-01	4,02E-02	6,76E-02	2,17E+03	5,54E+02

Tabela 5.12 - Quantificação das categorias de impacto ambiental na cobertura inclinada revestida a chapa metálica

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	(Kg Sb)	(Kg CO ₂)	(Kg CFC-11)	(Kg SO ₂)	(Kg C ₂ H ₄)	(KgPO ₄)	(MJ)	(MJ)
Betume asfáltico	1,97E-01	4,88E+00	6,11E-06	1,63E-02	1,66E-03	2,54E-03	4,48E+02	8,17E-01
Chapa de zinco	3,37E+00	4,74E+02	2,64E-05	7,75E+00	2,78E-01	4,65E-01	5,47E+05	1,08E+02
Ferro	7,17E+00	7,74E+02	2,60E-05	2,98E+00	4,50E-01	3,36E-01	1,26E+04	2,94E+02
Lã de Rocha	4,52E-01	6,28E+01	2,62E-06	3,58E-01	3,99E-02	1,92E-02	9,29E+02	4,21E+01
Laje aligeirada	7,11E-01	1,52E+02	1,07E-05	7,22E-01	3,41E-02	5,93E-02	1,40E+03	2,57E+01
Placas de gesso cartonado	7,44E-02	1,05E+01	1,17E-06	3,27E-02	1,41E-03	5,19E-03	1,72E+02	9,63E+00
Impacte ambiental total	1,20E+01	1,48E+03	7,30E-05	1,19E+01	8,05E-01	8,87E-01	5,63E+05	4,80E+02

Tabela 5.13 - Quantificação das categorias de impacto ambiental na cobertura inclinada com painel *sandwich*

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	(Kg Sb)	(Kg CO ₂)	(Kg CFC-11)	(Kg SO ₂)	(Kg C ₂ H ₄)	(KgPO ₄)	(MJ)	(MJ)
Aglomerado de madeira e cimento	3,65E-03	-2,29E-01	4,18E-08	2,17E-03	9,80E-05	3,03E-04	8,47E+00	1,46E+01
Madeira serrada densa	2,37E-01	-2,78E+02	2,97E-06	1,87E-01	1,69E-02	2,99E-02	4,59E+02	3,67E+03
Painéis de OSB	3,30E-02	-5,64E+00	1,33E-07	1,46E-02	1,86E-03	2,18E-03	6,70E+01	1,35E+02
Poliestireno extrudido	8,59E-02	2,02E+01	3,44E-04	3,21E-02	1,78E-03	2,50E-03	1,94E+02	2,14E+00
Telha cerâmica	1,11E+01	1,37E+01	1,41E-06	4,87E-02	2,60E-03	4,79E-03	2,45E+02	1,24E+01
Impacte ambiental total	1,14E+01	-2,50E+02	3,49E-04	2,84E-01	2,33E-02	3,97E-02	9,74E+02	3,83E+03

5.3.3. FACHADAS

5.3.3.1. Materiais utilizados

Na Tabela 5.14, Tabela 5.15, Tabela 5.16 e Tabela 5.17 são apresentados os materiais utilizados nos diversos pormenores das paredes para, assim, quantificar as categorias de impactes ambientais associadas a estas.

Tabela 5.14 – Materiais utilizados na parede exterior (P5)

Camada	Material
Pano exterior	Tijolo vazado
Isolamento térmico	Poliestireno expandido
Pano interior	Tijolo vazado
Revestimento interior	Reboco tradicional

Tabela 5.15 – Materiais utilizados na parede contígua (P6)

Camada	Material
Isolamento térmico	Poliestireno expandido
Pano interior	Tijolo vazado
Revestimento interior	Reboco tradicional
Pintura interior	Tinta

Tabela 5.16 – Materiais utilizados no pormenor P7

Solução assinalada a	Camada	Material
Vermelho	Revestimento exterior	Argamassa de cal e tinta
	Pano exterior	Tijolo vazado
	Isolamento térmico	Poliestireno expandido
	Pano interior	Tijolo vazado
	Revestimento interior	Reboco e tinta
Verde	Isolamento térmico	Poliestireno expandido
	Pano interior	Tijolo vazado
	Revestimento	Reboco e tinta
Azul	Isolamento térmico	Poliestireno expandido
	Pano interior	Tijolo vazado
	Revestimento	Reboco e tinta

Tabela 5.17 - Materiais utilizados no pormenor P8

Solução assinalada a	Camada	Material
Vermelho	Revestimento exterior	Reboco e tinta
	Pano exterior	Tijolo vazado
	Isolamento térmico	Poliestireno expandido
Verde	Isolamento térmico	Poliestireno expandido
	Pano interior	Tijolo vazado
	Revestimento	Reboco e tinta
Azul	Revestimento	Reboco e tinta
	Pano interior	Tijolo vazado
	Isolamento térmico	Poliestireno expandido extrudido

5.3.3.1. Propriedades dos elementos

As propriedades dos materiais utilizados são apresentadas desde a Tabela 5.18 à Tabela 5.21, necessárias para fazer a conversão dos valores das categorias de impacto ambiental, indicados na Tabela 5.22[48].

Tabela 5.18 – Propriedades dos elementos a utilizar na parede exterior (P5)

	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura (e)	Massa por m ² de cobertura
	[W/ (m°C)]	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
Poliestireno expandido	0,04	20	0,04	0,8
Reboco	1,3	2000	0,015	30
Tijolo cerâmico	0,9	1600	0,15	240
Tijolo cerâmico	0,9	1600	0,11	176

Tabela 5.19 - Propriedades dos elementos a utilizar na parede contígua (P6)

	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura (e)	Massa por m ² de cobertura
	[W/ (m°C)]	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
Poliestireno expandido	0,04	20	0,03	0,6
Reboco	1,3	2000	0,015	30
Tijolo cerâmico	0,9	1600	0,07	112

Tabela 5.20 – Propriedades dos elementos do pormenor de uma articulação das novas paredes com as pré-existent (P7)

Solução assinalada	Elemento	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura (e)	Massa por m ² de cobertura
		[W/ (m°C)]	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
Vermelho	Poliestireno expandido	0,04	20	0,04	0,8
	Reboco	1,3	2000	0,015	30
	Tijolo cerâmico	0,9	1600	0,15	240
				0,11	176
	Argamassa de cal	0,5	1500	0,02	30
Verde	Poliestireno expandido	0,04	20	0,04	0,8
	Tijolo cerâmico	0,9	1600	0,05	80
	Reboco	1,3	2000	0,015	30
Azul	Poliestireno expandido	0,04	20	0,03	0,6
	Tijolo cerâmico	0,9	1600	0,09	144
	Reboco	1,3	2000	0,015	30

Tabela 5.21 - Propriedades dos elementos do pormenor de uma articulação das novas paredes com as pré-existent (P8)

Solução assinalada	Elemento	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura (e)	Massa por m ² de cobertura
		[W/ (m°C)]	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
Vermelho	Poliestireno expandido	0,04	20	0,04	0,8
	Reboco	1,3	2000	0,015	30
	Tijolo cerâmico	0,9	1600	0,07	112
Verde	Tijolo cerâmico	0,9	1600	0,06	96
	Reboco	1,3	2000	0,02	40
Azul	Poliestireno expandido	0,04	20	0,04	0,8
	Tijolo cerâmico	0,9	1600	0,05	80
	Reboco	1,3	2000	0,02	40

5.3.3.3. Quantificação das categorias de impactes ambientais dos materiais

Os valores apresentados na Tabela 5.22 foram retirados da base de dados ACV e expressam os impactes *cradle-to-gate* associados à produção de 1Kg de material.

Tabela 5.22 – Impactes associados à produção de 1Kg de material [1]

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	(Kg Sb)	(Kg CO ₂)	(Kg CFC-11 ¹)	(Kg SO ₂)	(Kg C ₂ H ₄)	(KgPO ₄)	(MJ)	(MJ)
Poliestireno expandido	4,63E-02	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	1,01E+00
Reboco	4,90E-04	1,95E-01	8,00E-09	3,15E-04	1,29E-05	4,87E-05	1,31E+00	2,10E-01
Tijolo cerâmico	1,18E-03	2,20E-01	1,58E-08	5,48E-04	4,00E-05	6,71E-05	2,58E+00	2,55E-01
Argamassa de cal	1,37E-03	6,10E-01	2,08E-08	8,64E-04	3,91E-05	1,31E-04	3,26E+00	3,27E-01

A Tabela 5.23, Tabela 5.24, Tabela 5.25 e a Tabela 5.26 expressam os valores de quantificação das categorias de impacto ambiental de ACV por m² de material, referentes a cada pormenor das paredes.

Tabela 5.23 - Quantificação das categorias de impacto ambiental na parede exterior (P5)

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	(Kg Sb)	(Kg CO ₂)	(Kg CFC-11 ¹)	(Kg SO ₂)	(Kg C ₂ H ₄)	(KgPO ₄)	(MJ)	(MJ)
Poliestireno expandido	3,27E-02	7,68E+00	1,31E-04	1,22E-02	6,78E-04	9,52E-04	7,39E+01	8,16E-01
Reboco	1,47E-02	5,85E+00	2,40E-07	9,45E-03	3,87E-04	1,46E-03	3,93E+01	6,30E+00
Tijolo cerâmico	4,91E-01	9,15E+01	6,57E-06	2,28E-01	1,66E-02	2,79E-02	1,07E+03	1,06E+02
Impacte ambiental total	5,38E-01	1,05E+02	1,38E-04	2,50E-01	1,77E-02	3,03E-02	1,19E+03	1,13E+02

Tabela 5.24 - Quantificação das categorias de impacto ambiental na parede contígua (P6)

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	(Kg Sb)	(Kg CO ₂)	(Kg CFC-11)	(Kg SO ₂)	(Kg C ₂ H ₄)	(KgPO ₄)	(MJ)	(MJ)
Poliestireno expandido	2,45E-02	5,76E+00	9,84E-05	9,18E-03	5,09E-04	7,14E-04	5,54E+01	6,12E-01
Reboco	1,47E-02	5,85E+00	2,40E-07	9,45E-03	3,87E-04	1,46E-03	3,93E+01	6,30E+00
Tijolo cerâmico	1,32E-01	2,46E+01	1,77E-06	6,14E-02	4,48E-03	7,52E-03	2,89E+02	2,86E+01
Impacte ambiental total	1,71E-01	3,63E+01	1,00E-04	8,00E-02	5,38E-03	9,69E-03	3,84E+02	3,55E+01

Tabela 5.25 – Quantificação das categorias de impacto ambiental do pormenor P7

Área	Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
		ADP (Kg Sb)	GWP (Kg CO ₂)	ODP (Kg CFC-11)	AP (Kg SO ₂)	POCP (Kg C ₂ H ₄)	EP (KgPO ₄)	ENR (MJ)	ER (MJ)
Vermelho	Poliestireno expandido	3,70E-02	3,31E+00	8,80E-08	1,19E-02	5,40E-03	9,92E-04	8,40E+01	8,08E-01
	Reboco	1,47E-02	5,85E+00	2,40E-07	9,45E-03	3,87E-04	1,46E-03	3,93E+01	6,30E+00
	Tijolo cerâmico	4,91E-01	9,15E+01	6,57E-06	2,28E-01	1,66E-02	2,79E-02	1,07E+03	1,06E+02
	Argamassa de cal	4,11E-02	1,83E+01	6,24E-07	2,59E-02	1,17E-03	3,93E-03	9,78E+01	9,81E+00
	Impacte ambiental total	5,84E-01	1,19E+02	7,52E-06	2,75E-01	2,36E-02	3,43E-02	1,29E+03	1,23E+02
Verde	Poliestireno expandido	3,70E-02	3,31E+00	8,80E-08	1,19E-02	5,40E-03	9,92E-04	8,40E+01	8,08E-01
	Tijolo cerâmico	9,44E-02	1,76E+01	1,26E-06	4,38E-02	3,20E-03	5,37E-03	2,06E+02	2,04E+01
	Reboco	1,47E-02	5,85E+00	2,40E-07	9,45E-03	3,87E-04	1,46E-03	3,93E+01	6,30E+00
	Impacte ambiental total	1,46E-01	2,68E+01	1,59E-06	6,52E-02	8,99E-03	7,82E-03	3,30E+02	2,75E+01
Azul	Poliestireno expandido	2,78E-02	2,48E+00	6,60E-08	8,94E-03	4,05E-03	7,44E-04	6,30E+01	6,06E-01
	Tijolo cerâmico	1,70E-01	3,17E+01	2,28E-06	7,89E-02	5,76E-03	9,66E-03	3,72E+02	3,67E+01
	Reboco	1,47E-02	5,85E+00	2,40E-07	9,45E-03	3,87E-04	1,46E-03	3,93E+01	6,30E+00
	Impacte ambiental total	2,12E-01	4,00E+01	2,58E-06	9,73E-02	1,02E-02	1,19E-02	4,74E+02	4,36E+01

Tabela 5.26 - Quantificação das categorias de impacto ambiental do pormenor P8

Área	Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
		ADP (Kg Sb)	GWP (Kg CO ₂)	ODP (Kg CFC-11)	AP (Kg SO ₂)	POCP (Kg C ₂ H ₄)	EP (KgPO ₄)	ENR (MJ)	ER (MJ)
Vermelho	Poliestireno expandido	3,70E-02	3,31E+00	8,80E-08	1,19E-02	5,40E-03	9,92E-04	8,40E+01	8,08E-01
	Reboco	1,47E-02	5,85E+00	2,40E-07	9,45E-03	3,87E-04	1,46E-03	3,93E+01	6,30E+00
	Tijolo cerâmico	1,32E-01	2,46E+01	1,77E-06	6,14E-02	4,48E-03	7,52E-03	2,89E+02	2,86E+01
	Impacte ambiental total	1,84E-01	3,38E+01	2,10E-06	8,27E-02	1,03E-02	9,97E-03	4,12E+02	3,57E+01
Verde	Tijolo cerâmico	1,13E-01	2,11E+01	1,52E-06	5,26E-02	3,84E-03	6,44E-03	2,48E+02	2,45E+01
	Reboco	1,96E-02	7,80E+00	3,20E-07	1,26E-02	5,16E-04	1,95E-03	5,24E+01	8,40E+00
	Impacte ambiental total	1,33E-01	2,89E+01	1,84E-06	6,52E-02	4,36E-03	8,39E-03	3,00E+02	3,29E+01
Azul	Poliestireno expandido	3,70E-02	3,31E+00	8,80E-08	1,19E-02	5,40E-03	9,92E-04	8,40E+01	8,08E-01
	Tijolo cerâmico	9,44E-02	1,76E+01	1,26E-06	4,38E-02	3,20E-03	5,37E-03	2,06E+02	2,04E+01
	Reboco	1,96E-02	7,80E+00	3,20E-07	1,26E-02	5,16E-04	1,95E-03	5,24E+01	8,40E+00
	Impacte ambiental total	1,51E-01	2,87E+01	1,67E-06	6,84E-02	9,12E-03	8,31E-03	3,43E+02	2,96E+01

5.4. SOLUÇÕES ALTERNATIVAS

5.4.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Após conhecer os impactos associados a cada uma das soluções construtivas, serão analisadas soluções alternativas, de maneira a verificar se existem soluções que permitam um impacto ambiental menor.

5.4.2. COBERTURAS

5.4.2.1. Materiais utilizados

Inicialmente, serão analisadas soluções de cobertura com um material diferente no isolamento térmico, indicados na Tabela 5.27. A unidade funcional considerada é a resistência térmica, ou seja, para uma resistência térmica igual à utilizada na solução construtiva inicial, será calculada uma nova espessura, e com este novo valor será estimado um novo impacto, que pode ser comparado com o impacto primeiramente obtido.

Tabela 5.27 – Tipos de isolamento térmico

Tipos de isolamento térmico	
Aglomerado de cortiça expandida	ICB
Poliestireno extrudido	XPS
Espuma rígida de poliuretano	PUR
Lã de rocha	MW
Poliestireno expandido	EPS

5.4.2.2. Propriedades dos elementos

A Tabela 5.28 indica qual o material de isolamento térmico utilizado em cada tipo de cobertura, bem como a resistência térmica respectiva a cada um, valor este obtido através da relação entre a espessura e a condutibilidade térmica ($R = e/\lambda$).

Tabela 5.28 – Propriedades do isolamento térmico das coberturas nas soluções construtivas iniciais

Tipo de cobertura	Isolamento	Espessura	Resistência térmica
		[m]	$[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$
Plana	Lã de rocha	0,04	1
Inclinada revestida telha cerâmica	Lã de rocha	0,043	1,075
Inclinada revestida chapa metálica	Lã de rocha	0,043	1,075

Após conhecer a resistência térmica de cada tipo de cobertura, obteve-se a espessura a utilizar na nova solução construtiva, tal como indicam a Tabela 5.29 e a Tabela 5.30.

Tabela 5.29 – Propriedades do isolamento térmico na cobertura plana

	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura	Massa por m ² de cobertura
	[W/ (m°C)]	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
ICB	0,045	140	0,045	6,3
XPS	0,037	40	0,037	1,48
PUR	0,04	50	0,04	2
MW	0,04	100	0,04	4
EPS	0,04	20	0,04	0,8

Tabela 5.30 – Propriedades do isolamento térmico na cobertura inclinada revestida a telha cerâmica e chapa metálica

	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura	Massa por m ² de cobertura
	[W/ (m°C)]	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
ICB	0,045	140	0,048	6,72
XPS	0,037	40	0,04	1,6
PUR	0,04	50	0,043	2,15
MW	0,04	100	0,043	4,3
EPS	0,04	20	0,043	0,86

Será também analisada uma solução na qual serão utilizadas telhas de betão, em vez de telhas cerâmicas. Na Tabela 5.31 estão indicadas as propriedades do material, bem como qual a sua massa por metro quadrado, para, assim, ser possível calcular um novo valor de impacte ambiental.

Tabela 5.31 – Propriedades do betão a utilizar na cobertura revestida a telhas de betão

	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura	Massa por m ² de cobertura
	[W/ (m°C)]	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
Betão		2200	0,012	26,4

Relativamente a uma solução alternativa ao painel *sandwich*, será analisada uma nova solução construtiva, na qual será utilizado gesso cartonado em substituição aos painéis OSB. Na Tabela 5.32 estão apresentadas as propriedades do gesso cartonado.

Tabela 5.32 – Propriedades do gesso cartonado a utilizar na cobertura com painel *sandwich*

	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura	Massa por m ² de cobertura
	[W/ (m°C)]	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
Gesso cartonado	0,25	750	0,01	7,5

5.4.2.3. Quantificação das categorias de impacte ambiental

Na Tabela 5.33 estão apresentados os valores dos impactes ambientais associados a cada material de isolamento térmico, bem como os valores associados às telhas de betão e ao gesso cartonado.

Tabela 5.33 – Impactes associados à produção de 1Kg de material [1]

Materiais	Categorias de Impacte ambiental					Energia incorporada		
	ADP (Kg Sb)	GWP (Kg CO ₂)	ODP (Kg CFC- 11)	AP (Kg SO ₂)	POCP (Kg C ₂ H ₄)	EP (KgPO ₄)	ENR (MJ)	ER (MJ)
ICB	1,04E-02	-6,54E-01	9,26E-08	5,39E-03	4,55E-04	6,58E-04	2,51E+01	2,72E+01
XPS	4,09E-02	9,60E+00	1,64E-04	1,53E-02	8,48E-04	1,19E-03	9,24E+01	1,02E+00
PUR	4,31E-02	4,26E+00	1,89E-08	1,77E-02	2,05E-03	2,75E-03	1,00E+02	2,57E+00
MW	1,05E-02	1,46E+00	6,10E-08	8,32E-03	9,28E-04	4,46E-04	2,16E+01	9,79E-01
EPS	4,63E-02	4,14E+00	1,10E-07	1,49E-02	6,75E-03	1,24E-03	1,05E+02	1,01E+00
Telhas de betão	7,46E-04	2,12E-01	1,11E-08	4,47E-04	2,34E-05	7,64E-05	1,73E+00	1,09E-01
Gesso cartonado	2,48E-03	3,50E-01	3,89E-08	1,09E-03	4,69E-05	1,73E-04	5,74E+00	3,21E-01

Tal como calculado nas soluções construtivas iniciais, é possível chegar aos valores dos impactes ambientais associados a cada tipo de material. A Tabela 5.34, Tabela 5.35 e Tabela 5.36 indicam qual o impacte ambiental total da solução, utilizando cada tipo de isolamento.

Tabela 5.34 – Impacte ambiental total para cada tipo de isolamento na cobertura plana

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP (Kg Sb)	GWP (Kg CO ₂)	ODP (Kg CFC-11 ¹)	AP (Kg SO ₂)	POCP (Kg C ₂ H ₄)	EP (KgPO ₄)	ENR (MJ)	ER (MJ)
ICB	1,38E+00	2,32E+02	2,37E-05	1,10E+00	5,29E-02	9,41E-02	2,93E+03	2,44E+02
XPS	1,38E+00	2,50E+02	2,66E-04	1,09E+00	5,13E-02	9,17E-02	2,91E+03	7,40E+01
PUR	1,40E+00	2,45E+02	2,31E-05	1,10E+00	5,42E-02	9,55E-02	2,97E+03	7,76E+01
MW	1,36E+00	2,42E+02	2,33E-05	1,10E+00	5,38E-02	9,18E-02	2,85E+03	7,64E+01
EPS	1,35E+00	2,40E+02	2,32E-05	1,08E+00	5,55E-02	9,10E-02	2,85E+03	7,33E+01

Tabela 5.35 - Impacte ambiental total para cada tipo de isolamento na cobertura inclinada com a telha cerâmica

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP (Kg Sb)	GWP (Kg CO ₂)	ODP (Kg CFC-11 ¹)	AP (Kg SO ₂)	POCP (Kg C ₂ H ₄)	EP (KgPO ₄)	ENR (MJ)	ER (MJ)
ICB	1,07E+00	1,12E+02	1,86E-05	7,56E-01	3,92E-02	7,01E-02	2,25E+03	7,33E+02
XPS	1,07E+00	1,32E+02	2,80E-04	7,44E-01	3,75E-02	6,76E-02	2,23E+03	5,51E+02
PUR	1,10E+00	1,26E+02	1,80E-05	7,58E-01	4,06E-02	7,16E-02	2,30E+03	5,55E+02
MW	1,05E+00	1,23E+02	1,82E-05	7,56E-01	4,02E-02	6,76E-02	2,17E+03	5,54E+02
EPS	1,04E+00	1,20E+02	1,81E-05	7,33E-01	4,20E-02	6,67E-02	2,17E+03	5,51E+02

Tabela 5.36 - Impacte ambiental total para cada tipo de isolamento na cobertura inclinada com a chapa metálica

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	(Kg Sb)	(Kg CO ₂)	(Kg CFC-11)	(Kg SO ₂)	(Kg C ₂ H ₄)	(KgPO ₄)	(MJ)	(MJ)
ICB	1,1596E+01	1,411E+03	7,10E-05	1,1533E+01	7,681E-01	8,72E-01	5,623E+05	6,21E+02
XPS	1,1591E+01	1,431E+03	3,33E-04	1,1521E+01	7,664E-01	8,70E-01	5,622E+05	4,40E+02
PUR	1,1618E+01	1,425E+03	7,04E-05	1,1535E+01	7,694E-01	8,74E-01	5,623E+05	4,44E+02
MW	1,1571E+01	1,422E+03	7,07E-05	1,1532E+01	7,690E-01	8,70E-01	5,622E+05	4,42E+02
EPS	1,1566E+01	1,419E+03	7,05E-05	1,1509E+01	7,708E-01	8,69E-01	5,622E+05	4,39E+02

A Tabela 5.37 indica qual o impacte ambiental total da solução quando são utilizadas telhas de betão em vez de telhas cerâmicas.

Tabela 5.37 - Impacte ambiental total utilizando telhas de betão e telhas cerâmicas

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	(Kg Sb)	(Kg CO ₂)	(Kg CFC-11)	(Kg SO ₂)	(Kg C ₂ H ₄)	(KgPO ₄)	(MJ)	(MJ)
Telha cerâmica	1,10E+00	1,42E+02	1,90E-05	7,87E-01	4,15E-02	7,25E-02	2,31E+03	5,75E+02
Telha de betão	1,01E+00	1,34E+02	1,79E-05	7,50E-01	3,95E-02	6,97E-02	2,11E+03	5,65E+02

A Tabela 5.38 indica qual o impacte ambiental total da solução quando é utilizado gesso cartonado em vez de painéis OSB no painel *sandwich*.

Tabela 5.38 - Impacte ambiental total utilizando gesso cartonado no painel *sandwich*

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	(Kg Sb)	(Kg CO ₂)	(Kg CFC-11)	(Kg SO ₂)	(Kg C ₂ H ₄)	(KgPO ₄)	(MJ)	(MJ)
OSB	1,14E+01	-2,50E+02	3,49E-04	2,84E-01	2,33E-02	3,97E-02	9,74E+02	3,83E+03
Gesso cartonado	1,14E+01	-2,42E+02	3,49E-04	2,78E-01	2,17E-02	3,88E-02	9,50E+02	3,70E+03

5.4.3. FACHADAS

5.4.3.1. Materiais utilizados

Tal como no caso das coberturas, serão analisadas soluções com um material diferente no isolamento térmico, indicados na Tabela 5.39. A unidade funcional considerada é, novamente, a resistência térmica, ou seja, para uma resistência térmica igual à utilizada na solução construtiva inicial, será calculada uma nova espessura, e com este novo valor será estimado um novo impacte, que pode ser comparado com o impacte primeiramente obtido.

Tabela 5.39 – Tipos de isolamento térmico

Tipos de isolamento térmico	
Aglomerado de cortiça expandida	ICB
Poliestireno extrudido	XPS
Espuma rígida de poliuretano	PUR
Lã Mineral	MW
Poliestireno expandido moldado	EPS

Será ainda analisada uma solução baseada no sistema ETICS, cujos materiais são apresentados na Tabela 5.40.

Tabela 5.40 – Materiais utilizados no sistema ETICS

Material
Tijolo vazado
Argamassa de assentamento
Poliestireno expandido
Rede fibra de vidro
Reboco tradicional

5.4.3.2. Propriedades dos elementos

A Tabela 5.41 indica qual o material de isolamento térmico utilizado em cada pormenor das paredes, apresentados anteriormente, bem como a resistência térmica respetiva a cada um, valor este obtido através da relação entre a espessura e a condutibilidade térmica ($R = e/\lambda$).

Tabela 5.41 - Propriedades do isolamento térmico das paredes nas soluções construtivas iniciais

Pormenor	Isolamento	Espessura	Resistência térmica
		[m]	$[(m^2 \cdot ^\circ C)/W]$
P5	EPS	0,04	1
P6	EPS	0,03	0,75
P7	Vermelho	0,04	1
	Verde	0,04	1
	Azul	0,03	0,75
P8	Vermelho	0,04	1
	Verde	-	-
	Azul	0,04	1

Após conhecer a resistência térmica do isolamento em cada pormenor construtivo, obteve-se a espessura a utilizar na nova solução construtiva, tal como indicam a Tabela 5.42, Tabela 5.43e Tabela 5.44.

Tabela 5.42 - Propriedades do isolamento térmico na parede do pormenor P5

	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura (e)	Massa por m^2 de cobertura
	$[W/(m \cdot ^\circ C)]$	$[Kg/m^3]$	[m]	$[Kg/m^2]$
ICB	0,045	140	0,045	6,3
XPS	0,037	40	0,037	1,48
PUR	0,04	50	0,04	2
MW	0,04	100	0,04	4
EPS	0,04	20	0,04	0,8

Tabela 5.43 - Propriedades do isolamento térmico na parede do pormenor P6

	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura (e)	Massa por m ² de cobertura
	[W/ (m°C)]	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
ICB	0,045	140	0,03375	4,725
XPS	0,037	40	0,02775	1,11
PUR	0,04	50	0,03	1,5
MW	0,04	100	0,03	3
EPS	0,04	20	0,03	0,6

Tabela 5.44 – Propriedades do isolamento térmico da solução do sistema ETICS

	Condutibilidade térmica (λ)	Massa volúmica aparente seca (ρ)	Espessura (e)	Massa por m ² de cobertura
	[W/ (m°C)]	[Kg/m ³]	[m]	[Kg/m ²]
Argamassa (colagem)	1,3	2000	0,002	4
Argamassa (1ªcamada)			0,002	4
Argamassa (2ªcamada/revestimento)			0,003	6
Poliestireno expandido	0,04	20	0,04	0,8
Fibra de vidro	0,028	2,54	0,004	0,01
Tinta de base sintética		1330	0,001	1,33

5.4.2.3. Quantificação das categorias de impacto ambiental

Na Tabela 5.45 e Tabela 5.46 são apresentados os valores de impacto ambiental total das novas soluções construtivas, utilizando diferentes materiais de isolamento térmico, e da solução inicial, na qual é utilizado EPS.

Tabela 5.45 - Impacte ambiental total para cada tipo de isolamento no pormenor P5

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	(Kg Sb)	(Kg CO ₂)	(Kg CFC-11 ¹)	(Kg SO ₂)	(Kg C ₂ H ₄)	(KgPO ₄)	(MJ)	(MJ)
ICB	5,71E-01	9,32E+01	7,40E-06	2,71E-01	1,99E-02	3,35E-02	1,27E+03	2,84E+02
XPS	5,66E-01	1,12E+02	2,50E-04	2,60E-01	1,83E-02	3,11E-02	1,25E+03	1,14E+02
PUR	5,92E-01	1,06E+02	6,85E-06	2,73E-01	2,11E-02	3,49E-02	1,31E+03	1,18E+02
MW	5,48E-01	1,03E+02	7,06E-06	2,71E-01	2,07E-02	3,12E-02	1,20E+03	1,16E+02
EPS	5,43E-01	1,01E+02	6,90E-06	2,49E-01	2,24E-02	3,04E-02	1,20E+03	1,13E+02

Tabela 5.46 - Impacte ambiental total para cada tipo de isolamento no pormenor P6

Materiais	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	(Kg Sb)	(Kg CO ₂)	(Kg CFC-11 ¹)	(Kg SO ₂)	(Kg C ₂ H ₄)	(KgPO ₄)	(MJ)	(MJ)
ICB	1,96E-01	2,74E+01	2,45E-06	9,63E-02	7,02E-03	1,21E-02	4,47E+02	1,63E+02
XPS	1,92E-01	4,11E+01	1,84E-04	8,78E-02	5,81E-03	1,03E-02	4,31E+02	3,60E+01
PUR	2,12E-01	3,69E+01	2,04E-06	9,74E-02	7,94E-03	1,31E-02	4,78E+02	3,87E+01
MW	1,78E-01	3,49E+01	2,19E-06	9,58E-02	7,65E-03	1,03E-02	3,93E+02	3,78E+01
EPS	1,75E-01	3,30E+01	2,08E-06	7,98E-02	8,92E-03	9,72E-03	3,91E+02	3,55E+01

Na Tabela 5.47 são apresentados os valores de impacte ambiental total utilizando o sistema ETICS, com poliestireno expandido, cuja respetiva espessura foi calculada de acordo com a resistência térmica do pormenor P7.

Tabela 5.47 – Impacte ambiental total com sistema ETICS no pormenor P7

	Categorias de Impacte ambiental						Energia incorporada	
	ADP	GWP	ODP	AP	POCP	EP	ENR	ER
	(Kg Sb)	(Kg CO ₂)	(Kg CFC-11 ¹)	(Kg SO ₂)	(Kg C ₂ H ₄)	(KgPO ₄)	(MJ)	(MJ)
P7 (azul)	2,12E-01	4,00E+01	2,58E-06	9,73E-02	1,02E-02	1,19E-02	4,74E+02	4,36E+01
ETICS	8,01E-02	8,56E+00	9,48E-07	4,02E-02	5,49E-03	8,70E-03	1,77E+02	9,48E+00

5.5. ANÁLISE DE RESULTADOS

5.5.1. COBERTURAS

5.5.1.1. Cobertura plana

A primeira categoria de impacto ambiental analisada diz respeito ao potencial de diminuição das reservas de recursos abióticos (ADP), que se relaciona com o esgotamento de recursos abióticos. Os gráficos da Figura 5.13 e Figura 5.14 representam o impacto ambiental associado a cada tipo de isolamento térmico, concluindo-se que o material menos indicado será o poliuretano, sendo o poliestireno expandido aquele que desempenha um papel mais favorável, seguindo-se a lã de rocha, que é o material de isolamento utilizado na solução do caso de estudo. Relativamente à destruição da camada de ozono (ODP) e ao aquecimento global (GWP), o material com um impacto mais negativo é o poliestireno extrudido. O aglomerado de cortiça expandida apresenta o melhor desempenho em relação à energia renovável, sendo um material natural e biodegradável.

No que diz respeito à energia incorporada, os impactos associados são a energia renovável (ER) e a energia não renovável (ENR). A energia não renovável refere-se a recursos naturais que não podem ser repostos pela natureza nem pelo ser humano e que, com o passar do tempo, esgotam. Portanto, a solução mais adequada será aquela que terá um valor associado a este impacto o mais baixo possível, que, neste caso, são as soluções que utilizam poliestireno expandido e lã de rocha. Em relação à energia renovável, ao contrário das outras categorias de impacto ambiental, os valores devem ser elevados, pois trata-se de um impacto positivo, sendo a solução que utiliza como isolamento o aglomerado de cortiça expandida a mais favorável.

Assim, os materiais que apresentam um melhor desempenho são a lã de rocha e o poliestireno expandido.

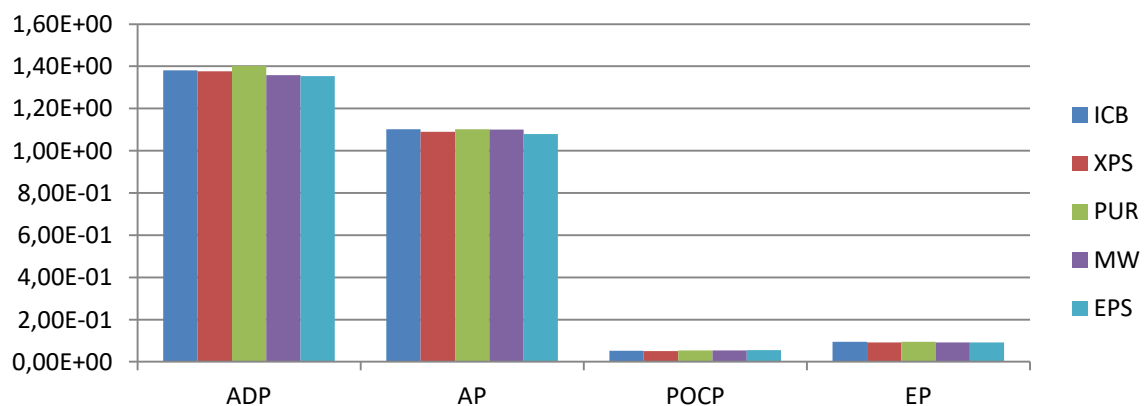


Figura 5.13 - IACV na cobertura plana

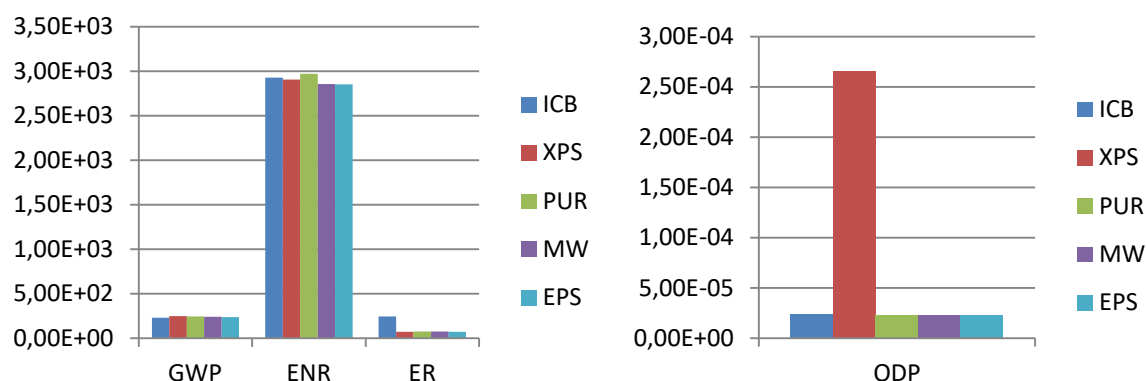


Figura 5.14 – IACV na cobertura plana

5.5.1.2. Cobertura inclinada revestida com telha cerâmica

Relativamente à cobertura inclinada revestida com telha cerâmica, os valores correspondentes aos diversos impactes ambientais estão apresentados na Figura 5.15 e Figura 5.16. Analisando os gráficos, verifica-se que, para a maioria das categorias de impacte ambiental, o poliestireno expandido aparenta ser a melhor solução de isolamento térmico, seguindo-se a lã de rocha. O aglomerado de cortiça expandida apresenta um valor razoável, no que diz respeito ao aquecimento global e à formação de ozono troposférico, e um valor bastante aceitável em relação à energia renovável. No entanto, em relação às restantes categorias, nomeadamente ADP, AP e EP não é a solução mais vantajosa. O poliestireno extrudido apresenta, novamente, um valor bastante elevado em relação à destruição da camada de ozono, e o poliuretano impactes negativos na maior parte das categorias de impacte ambiental.

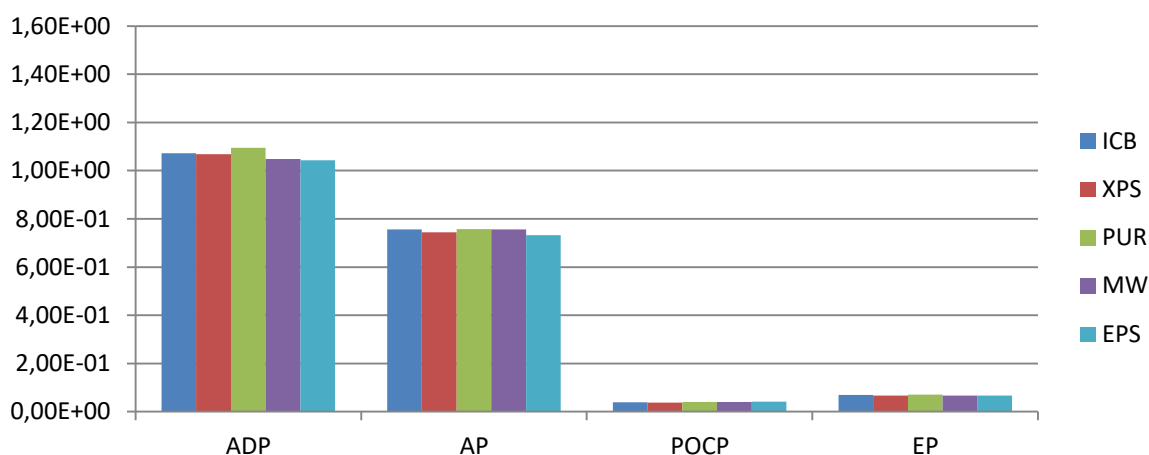


Figura 5.15 - IACV na cobertura inclinada revestida a telha cerâmica

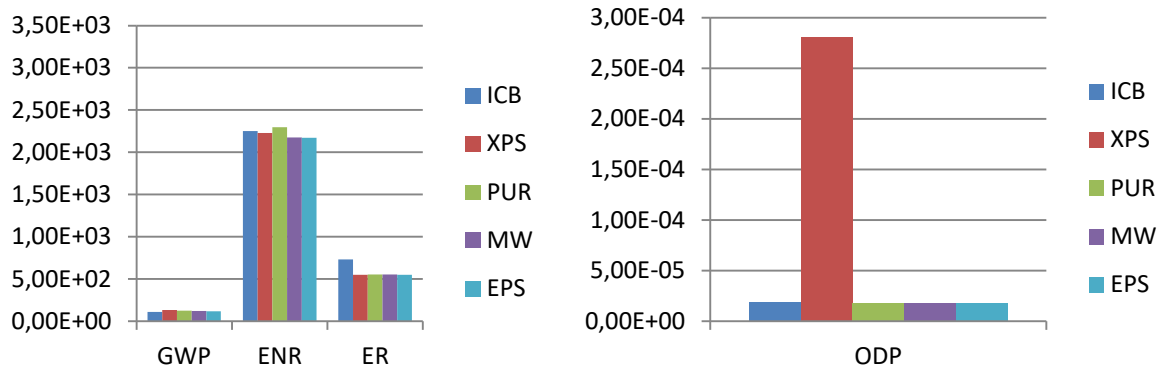


Figura 5.16 – IACV na cobertura inclinada revestida a telha cerâmica

Ainda em relação à cobertura inclinada revestida a telha cerâmica, foi analisada uma solução alternativa, que consiste na substituição das telhas cerâmicas por telhas de betão. Os gráficos da Figura 5.17 mostram que, em todas as categorias, a utilização de telhas de cerâmica apresentam valores de impactes mais elevados, ou seja, mais desfavoráveis, e em relação à energia renovável os valores das duas soluções são bastante próximos.

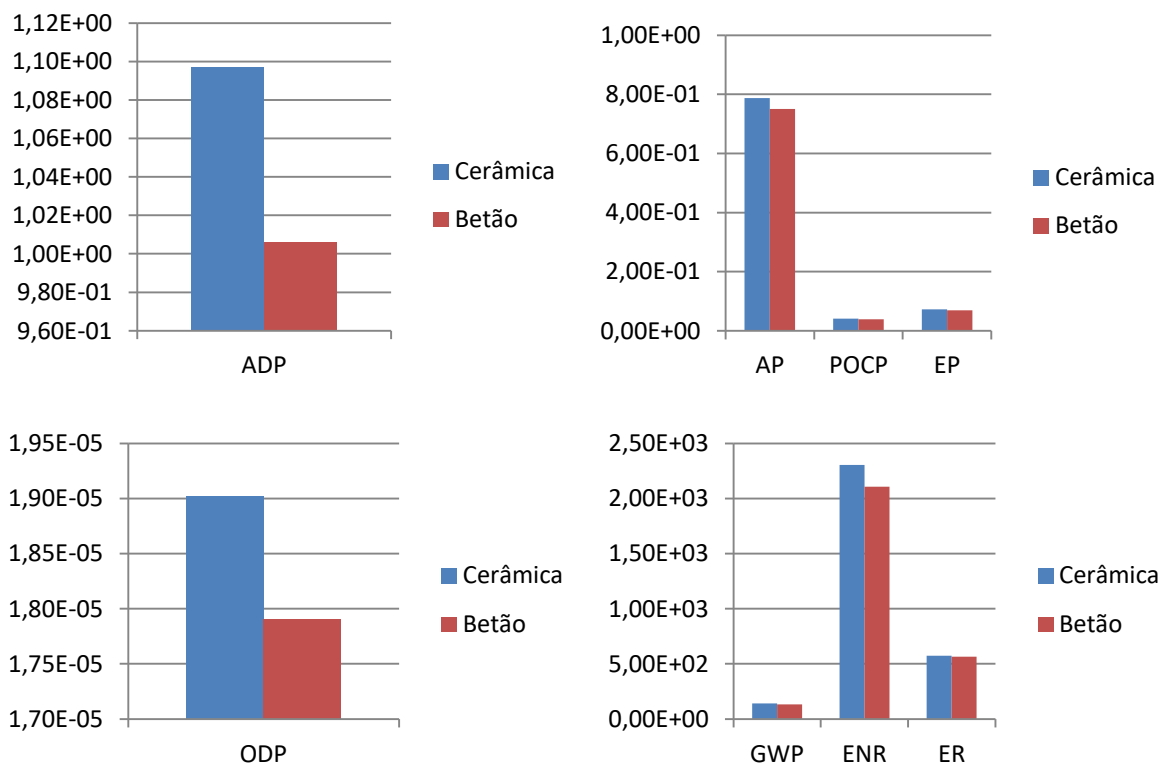


Figura 5.17 – IACV na cobertura inclinada utilizando telhas de betão

5.5.1.3. Cobertura inclinada revestida com chapa metálica

Na Figura 5.18 são apresentados os valores dos impactos ambientais referentes à cobertura inclinada revestida com chapa metálica. Neste caso, verifica-se que os valores dos impactos são mais elevados, nomeadamente o da energia não renovável (ENR) e o aquecimento global (GWP). Este resultado pode ser devido ao facto de esta cobertura ter o ferro e uma chapa de zinco como elementos da sua constituição, pois estes materiais apresentam valores de impacto ambiental mais elevados do que os outros materiais, o que leva a um aumento dos valores dos impactos totais das soluções apresentadas. O aglomerado de cortiça expandida, apresenta-se, mais uma vez, como elemento mais favorável relativamente à energia renovável, e o poliestireno extrudido como mais desfavorável face à destruição da camada de ozono. Analisando as restantes categorias, os valores associados a cada material de isolamento térmico são praticamente constantes, exceto no caso na energia não renovável, no qual o poliuretano é o material que apresenta valores mais elevados.

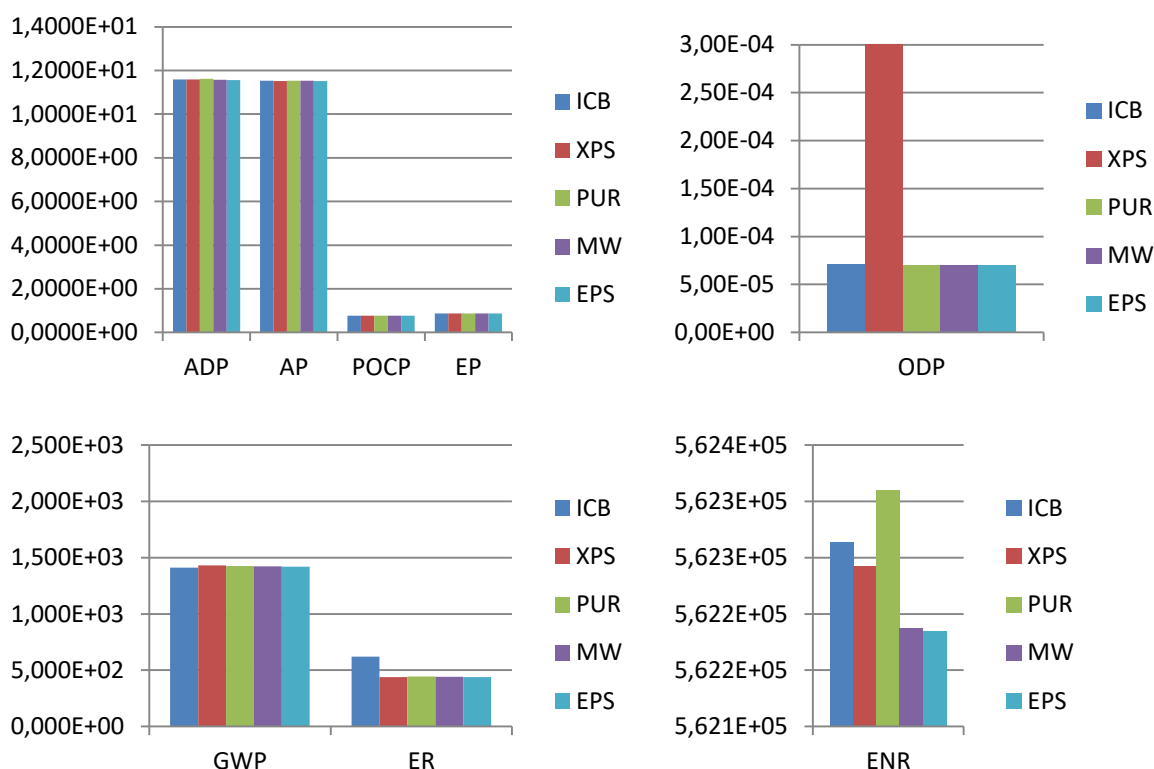


Figura 5.18 – IACV na cobertura inclinada revestida com chapa metálica

5.5.1.4. Cobertura inclinada com painel *sandwich*

A Figura 5.19 indica os valores dos impactos ambientais relativamente à substituição dos painéis de OSB por gesso cartonado no painel *sandwich*. Apenas estão indicadas as categorias nas quais os valores diferiam mais entre os dois materiais, as quais apresentam todas a mesma conclusão. A utilização de gesso cartonado provoca um impacto ambiental menor, apesar de apresentar também um valor de energia renovável mais reduzido. No entanto, esta análise é feita em termos ambientais, pois no que diz respeito à resistência e durabilidade, os painéis OSB apresentam um melhor desempenho.

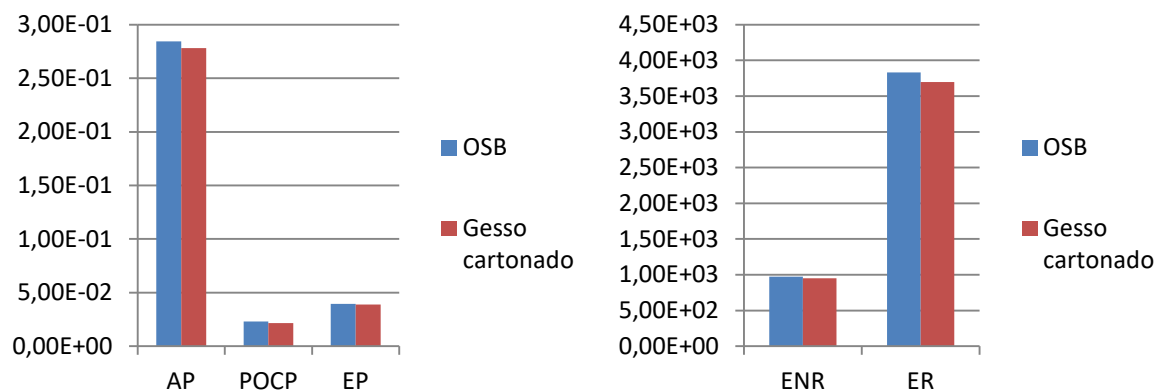


Figura 5.19 – IACV na cobertura inclinada com painel *sandwich*

Após uma observação generalizada dos indicadores, verifica-se que o material de isolamento térmico mais desfavorável é o poliuretano, pois é o que apresenta valores de impactes maiores. O poliestireno extrudido também acaba por não ser uma boa solução pois, apesar de não apresentar os valores mais altos em todas as categorias, apresenta um valor negativo muito acentuado no que diz respeito à destruição da camada de ozono.

Assim, relativamente à alteração de material de isolamento térmico, os materiais com melhor desempenho são o poliestireno expandido e a lã de rocha, pois são os materiais que apresentam valores de impactes ambientais menores.

No que diz respeito ao tipo de material das telhas, comprova-se que este pode influenciar consideravelmente no resultado total dos impactes ambientais da solução, tal como foi analisado anteriormente, pois as telhas de betão provocam um impacto inferior às telhas de cerâmica. O mesmo acontece relativamente ao tipo de material utilizado no painel *sandwich*, pois na solução alternativa analisada, constatou-se que o gesso cartonado provoca um impacto menor.

5.5.2. FACHADAS

Os gráficos da Figura 5.20 representam os valores dos impactes ambientais da parede do pormenor P5, relativamente à aplicação de um material diferente no isolamento térmico.

Um dos impactes mais preocupantes é o aquecimento global, expresso em termos de emissões de gases com efeito de estufa (GWP), e que, neste caso, apresenta valores mais elevados quando é utilizado poliestireno extrudido como material de isolamento térmico. O material que provoca um impacto menor é o aglomerado de cortiça expandida, na medida em que se trata de um material natural e biodegradável, que não é poluente, sendo também o material com um impacto mais favorável relativamente à energia renovável (ER).

Em relação à destruição da camada de ozono, este indicador (ODP) avalia a quantidade de radiação de UV-V que atinge a superfície terrestre, e os seus valores devem ser mínimos e bem considerados, na medida em que é um impacto ambiental que apresenta efeitos negativos na saúde humana. A solução com valores mais baixos relativamente a este impacto é a solução que contém poliuretano e poliestireno expandido.

Os restantes impactes ambientais avaliados, associados à acidificação do solo e dos recursos hídricos (AP), esgotamento de recursos abióticos (ADP) e eutrofização (EP) apresentam valores mais baixos quando se utiliza poliestireno expandido como material de isolamento. No entanto, este material apresenta também os valores mais propícios à formação de ozono troposférico (POCP).

Já no que diz respeito à energia não renovável (ENR), o poliuretano apresenta-se novamente como material que provoca um impacto maior, não sendo, portanto, uma solução considerável, bem como o poliestireno extrudido, que apresenta um valor bastante elevado face a um impacto que afeta diretamente o ser humano.

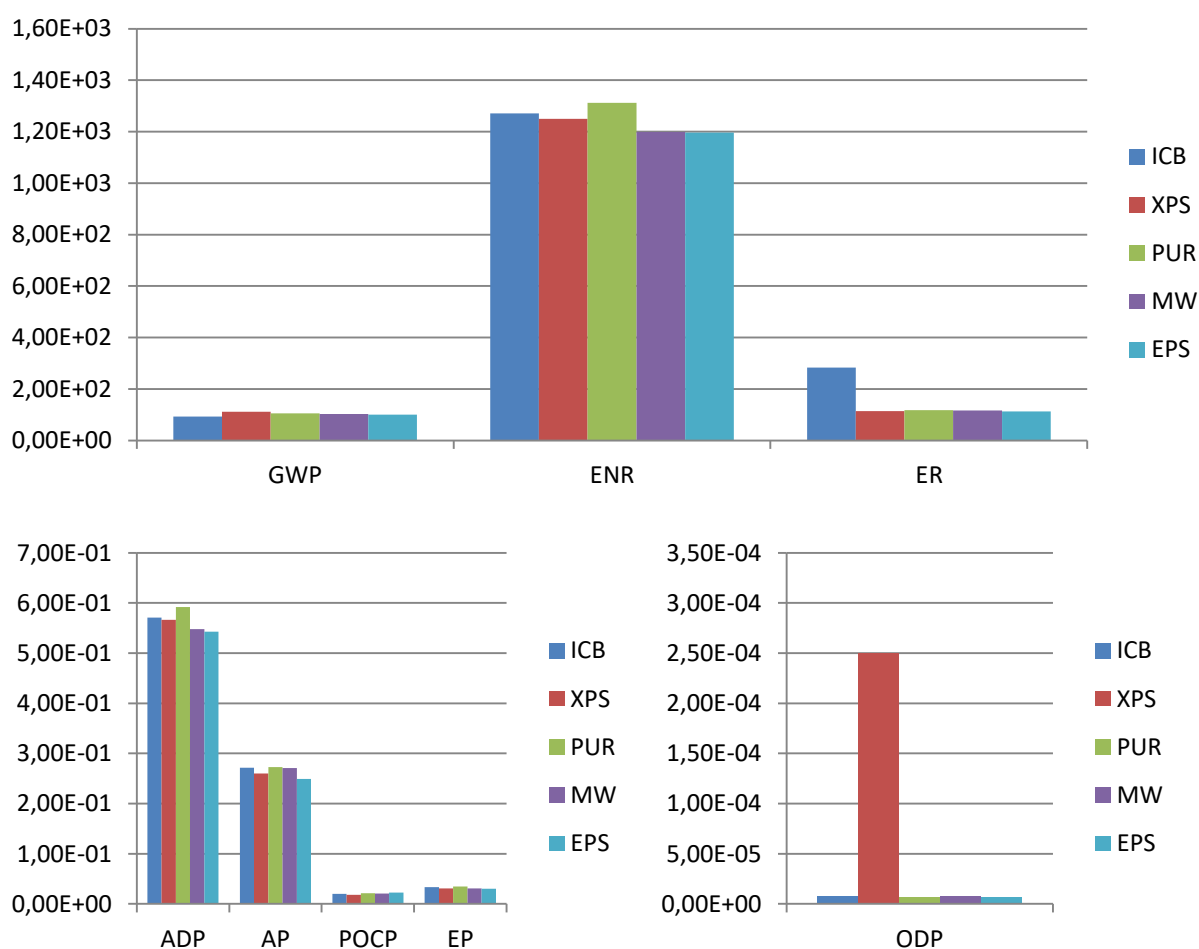


Figura 5.20 – IACV na parede do pormenor P5

Analisando o pormenor P6, os resultados obtidos relativamente às categorias de impacto ambiental, apresentados na Figura 5.21, são semelhantes ao pormenor P5. O aglomerado de cortiça expandida apresenta-se como a melhor solução em relação à energia renovável e o poliestireno expandido como material de isolamento térmico que apresenta os valores menores de impacto ambiental face às restantes categorias. O poliestireno extrudido apresenta, novamente, um valor bastante elevado de impacto, no que diz respeito à destruição da camada de ozono.

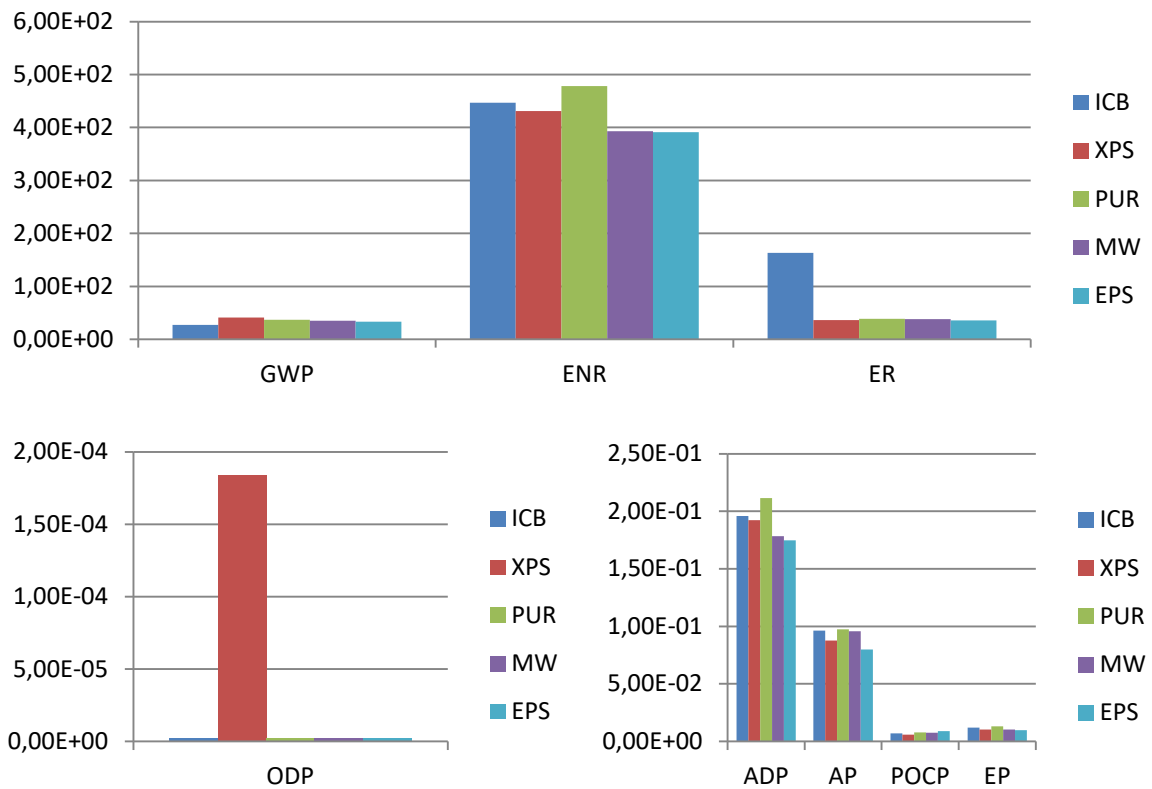


Figura 5.21 – IACV na parede do pormenor P6

Analisando os pormenores P7 e P8, com base na alteração do material de isolamento térmico, esperam-se resultados semelhantes aos obtidos nos pormenores anteriormente analisados, pois a sua constituição, ainda que com diferentes valores de espessura, vai de encontro ao que foi anteriormente apresentado.

No entanto, relativamente à solução alternativa baseada no sistema ETICS, os gráficos da indicam que esta é uma solução mais favorável do que a solução anteriormente descrita no pormenor P7 (azul), em todas as categorias de impacto ambiental. No entanto, o valor da energia renovável é também superior na solução descrita no pormenor P7 (azul), apresentando, assim, um aspeto favorável, ainda que mínimo, tal como indica a Figura 5.22 e Figura 5.23.

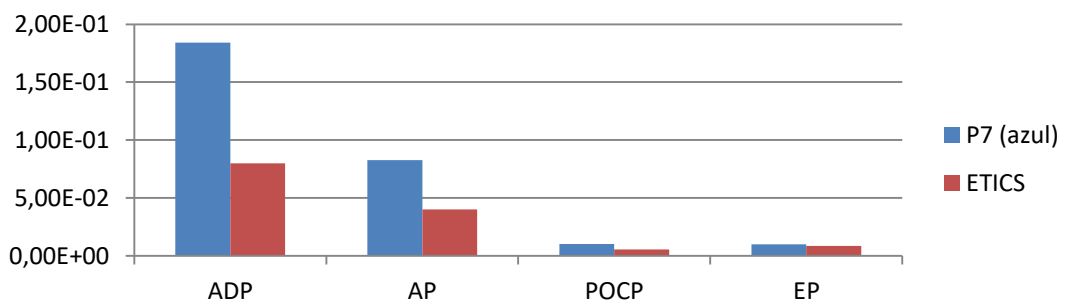


Figura 5.22 - IACV no pormenor P7 com sistema ETICS

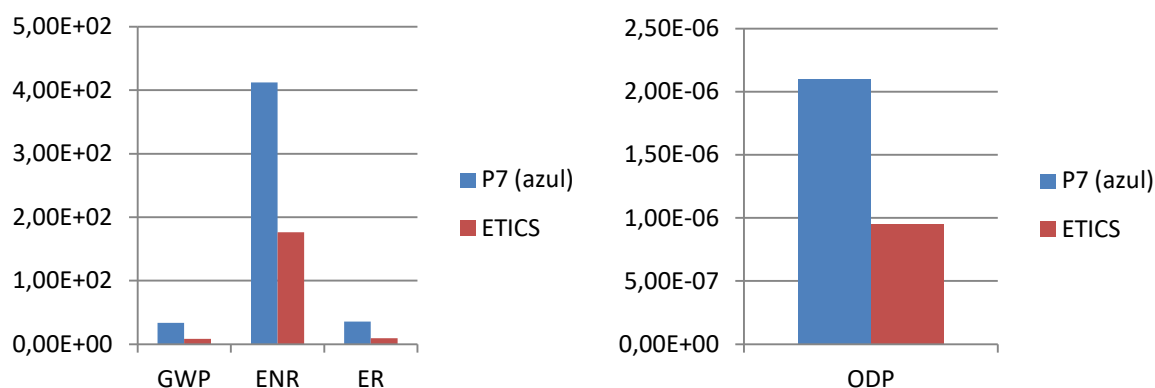


Figura 5.23 – IACV no pormenor P7 com sistema ETICS

Após uma análise dos resultados de alguns pormenores das paredes, constata-se que o poliestireno expandido (EPS) é o material de isolamento térmico que apresenta os menores valores nas categorias de impacto ambiental, ou seja, a melhor solução a considerar. Esta verificação vai de encontro às soluções construtivas presentes no caso de estudo, pois o material de isolamento utilizado nas mesmas é o poliestireno expandido.

O poliestireno extrudido não é uma solução a considerar pois apresenta valores elevados nas categorias referentes à destruição da camada de ozono e aquecimento global, tal como o poliuretano que possui valores acentuados face à energia não renovável e ao esgotamento de recursos abióticos.

Relativamente à solução com o sistema ETICS, esta é uma solução mais vantajosa do que a solução construtiva associada ao pormenor P7 do caso de estudo, na medida em que solução do pormenor P7 é composta por um pano de tijolo vazado, o que provoca um aumento do impacto ambiental total da solução, fazendo com que esta seja mais desfavorável.

6

CONCLUSÃO

6.1. CONCLUSÕES GERAIS

A exploração inadequada de recursos naturais e a, consequente, produção de emissões atmosféricas e resíduos têm um impacto elevado no aumento das alterações climáticas do nosso planeta. O sector da construção está inteiramente relacionado com a sustentabilidade e com os seus três pilares, económico, social e ambiental. O desenvolvimento sustentável defende a ideia de que os ecossistemas mantêm as sociedades que geram economia, e que a base da evolução das outras atividades é focada no ambiente.

A reabilitação de edifícios visa criar um ambiente construído saudável, baseado na utilização eficiente de recursos e em princípios ecológicos.

O estudo dos materiais de construção e dos processos construtivos incluídos no ciclo de vida de um edifício permite o melhoramento do seu desempenho ambiental. A aplicação da metodologia ACV num edifício permite conhecer os impactos associados a cada elemento e solução construtiva, possibilitando, assim, optar por uma escolha mais adequada.

Esta metodologia é fundamental na análise de materiais de construção, na medida em que, conhecendo as características do mesmo, é possível fazer uma previsão do impacto ambiental associado, podendo, assim, construir ou reconstruir um edifício sustentável.

Nesta dissertação, a avaliação do ciclo de vida foi aplicada em soluções construtivas em coberturas e fachadas, referentes ao caso de estudo apresentado, bem como em soluções alternativas, de maneira a que num processo de reabilitação sejam consideradas as opções mais favoráveis em termos ambientais.

Os valores de impacto ambiental associados a cada solução construtiva foram obtidos através da base de dados ACV [1], que permite, a partir dos valores de cada material, obter valores da solução total.

Analisando os valores de impacto ambiental associados a 1 Kg de material, constata-se que, relativamente aos materiais de isolamento térmico, o poliestireno expandido (EPS) provoca um impacto ambiental superior à lã de rocha (MW). No entanto, após a análise, *cradle-to-gate*, efetuada nesta dissertação, conclui-se que, apesar de estes serem os materiais com melhor desempenho, o poliestireno expandido é mais favorável do que a lã de rocha, devido ao facto de o poliestireno expandido ser um material de isolamento térmico com menor massa específica, fazendo com que apresente melhor desempenho face a outros materiais.

O poliestireno expandido e a lã de rocha foram os materiais que apresentaram os melhores resultados associados às diversas categorias de impacto ambiental, quer nas coberturas, quer nos pormenores das paredes analisadas. Contrariamente a estes, o poliestireno extrudido e o poliuretano foram os materiais considerados mais desfavoráveis, não sendo, portanto, soluções a considerar, de um ponto de vista sustentável.

A escolha do material é um aspeto bastante importante a considerar numa avaliação do ciclo de vida de um edifício. Relativamente a este caso de estudo, foram também analisadas soluções baseadas na escolha do material, nomeadamente na substituição das telhas e do revestimento do painel *sandwich*. Conclui-se que as telhas de betão provocam um impacto ambiental menor do que a telha cerâmica e que o gesso cartonado é, ambientalmente, mais favorável do que os painéis OSB.

A reabilitação tem como objetivo responder a exigências de conforto térmico, e uma das medidas mais adequadas, no que diz respeito a fachadas, é o reforço do isolamento térmico, sempre aliado ao mínimo consumo de energia e à proteção ambiental. Uma das soluções alternativas analisadas foi a utilização do sistema ETICS num dos pormenores do caso de estudo. Conclui-se que esta é uma solução que apresenta melhor desempenho do que a solução construtiva considerada inicialmente.

A metodologia ACV apresenta, assim, um grande potencial no estudo de impacto ambiental de um edifício, desde o produto mais elementar à solução mais complexa, e permite que a reabilitação de edifícios, aliada ao conceito de sustentabilidade, seja a resposta face aos problemas existentes no sector da construção.

6.2. DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

Nesta dissertação foram analisadas diversas soluções e quantificado o seu potencial, de um ponto de vista sustentável, mais especificamente ambiental. No entanto, além da proteção e valorização do ambiente, o desenvolvimento sustentável procura também um desenvolvimento económico e uma coesão social, sendo, portanto, pertinente uma análise económica, um estudo que envolvesse uma avaliação dos custos do ciclo de vida.

Como referido anteriormente, no capítulo 4, a avaliação do ciclo de vida apresenta diferentes variantes, em função das fases que são estudadas. Nesta dissertação, a metodologia foi aplicada segundo a variante *cradle-to-gate*, ou seja, inclui os processos desde a extração até à porta da fábrica, ao consumidor final. Seria, portanto, necessário fazer uma análise que tenha em conta as fases que não foram consideradas, para que esta seja mais completa.

Por último, a metodologia ACV envolve uma quantidade elevada de dados, referentes a cada material e às diversas soluções construtivas. A existência de uma base de dados mais alargada, nomeadamente a existência de mais informação associada a materiais de construção, e a criação de soluções construtivas padronizadas facilitaria o processo de avaliação do ciclo de vida de um edifício.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

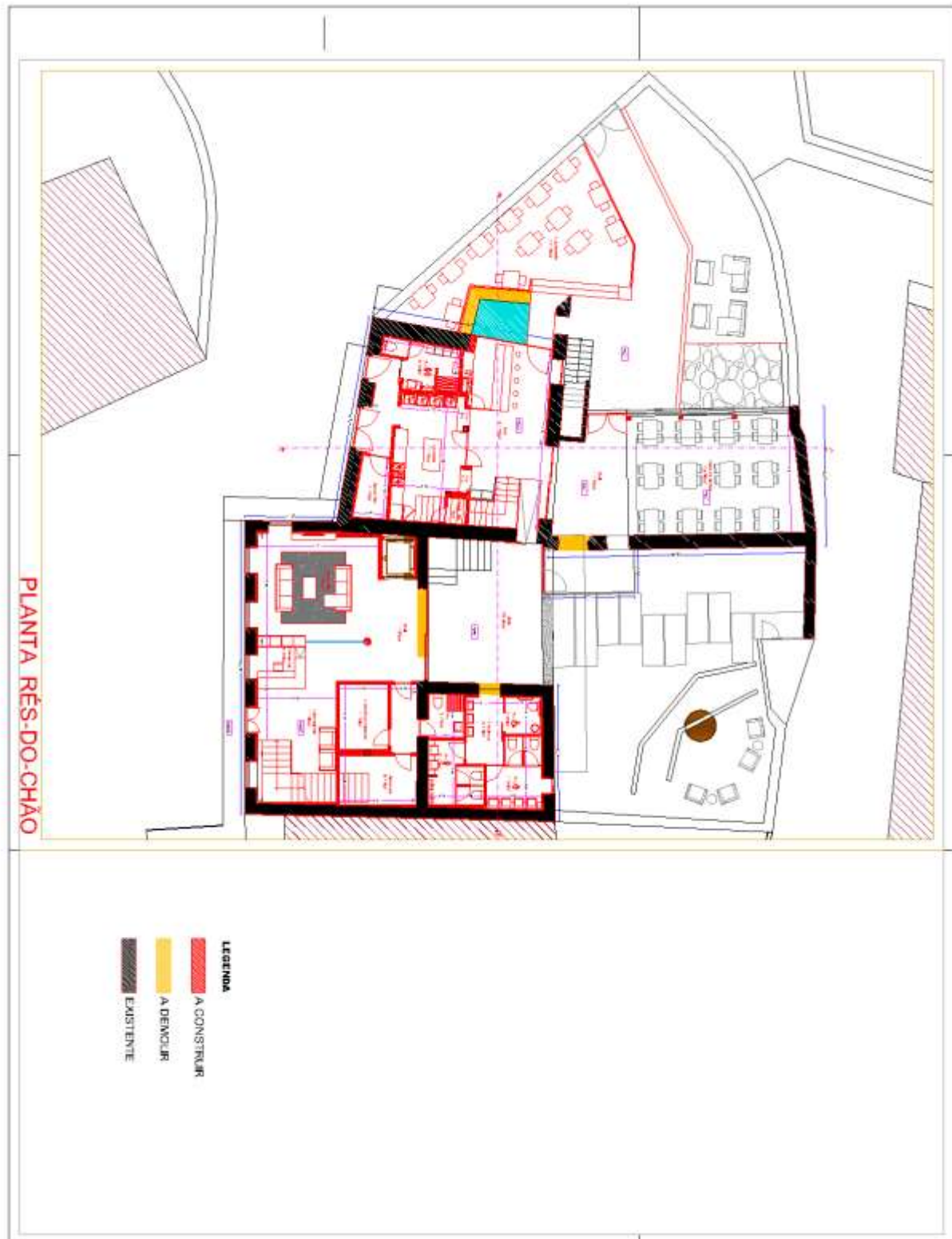
- [1] Luís Bragança, Ricardo Mateus, *Avaliação do Ciclo de Vida dos Edifícios. Impacte Ambiental de Soluções Construtivas.*, Portugal por Multicomp, 2011.
- [2] Decreto-Lei n.º 307/2009, de 23 de Outubro, alterado pela Lei n.º 32/2012, de 14 de Agosto.
- [3] Tiago Romão, *Evolução do Sector da Construção em Portugal*, Dissertação de Mestrado: Instituto Superior Técnico de Lisboa, 2015.
- [4] INE, IP, *Contas Nacionais Trimestrais e Anuais Preliminares 2016.*, Instituto Nacional de Estatística, IP, 2017.
- [5] INE, IP, *Estatísticas do Emprego 2016*, Instituto Nacional de Estatística, IP, 2017.
- [6] INE, IP, *Reabilitação do Parque Habitacional 2001-2011*, Instituto Nacional de Estatística, IP, 2017.
- [7] “82nd EUROCONSTRUCT Conference,” 25 Novembro 2016. [Online]. Available: <http://www.euroconstruct.org>. [Acedido em Março 2017].
- [8] F. P. Torgal e S. Jalali, *A Sustentabilidade dos Materiais de Construção*, Braga: TecMinho, 2010.
- [9] “Earth System Research Laboratory,” [Online]. Available: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/full.html>. [Acedido em Maio 2017].
- [10] “Earth System Research Laboratory,” [Online]. Available: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/index.html>. [Acedido em Maio 2017].
- [11] “Earth System Research Laboratory,” [Online]. Available: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/global.html>. [Acedido em Maio 2017].
- [12] “EcoDebate,” [Online]. Available: <https://www.ecodebate.com.br/2016/11/11/11/aquecimento-global-e-orcamento-carbono-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>. [Acedido em Abril 2017].
- [13] “Earth System Research Laboratory,” [Online]. Available: <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/aggi/>. [Acedido em Maio 2017].
- [14] Á. M. V. Fernandes, *Métodos de Avaliação da Sustentabilidade das Construções*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [15] “Agenda 2030,” [Online]. Available: <http://www.instituto-camoes.pt/activity/o-que-fazemos/cooperacao/cooperacao-portuguesa/mandato/ajuda-ao-desenvolvimento/agenda-2030>. [Acedido em Abril 2017].
- [16] Sandra Gouveia, *Análise do ciclo de vida de soluções de reabilitação energética de coberturas*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2015.
- [17] “Portugal 2020,” [Online]. Available: <https://www.portugal2020.pt/Portal2020>. [Acedido em Abril 2017].

- [18] “ZERO- Associação Sistema Terrestre Sustentável,” [Online]. Available: <https://zero.org/portugal-tem-uma-pegada-ecologica-160-acima-da-sua-biocapacidade/>. [Acedido em Abril 2017].
- [19] “Global Footprint Network,” [Online]. Available: <http://data.footprintnetwork.org/countryTrends.html?cn=5001&type=cdPC>. [Acedido em Abril 2017].
- [20] R. Mateus, *Avaliação da sustentabilidade na construção: propostas para o desenvolvimento de edifícios mais sustentáveis*, Tese de Doutoramento: Universidade do Minho, 2009.
- [21] M. D. Pinheiro, *Ambiente e Construção Sustentável*, Amadora: Instituto do Ambiente, 2006.
- [22] Jorge Mascarenhas, *Sistemas de Construção IV- Coberturas Planas, Juntas; Materiais básicos (2ª parte): Materiais Ferrosos e Alumínio*, Lisboa: Livros Horizonte, 2003.
- [23] *Decreto de lei n.º38 382 - Regulamento Geral das Edificações Urbanas*, 7 de agosto de 1951 .
- [24] “Documents Techniques Unifiés: Travaux d'étanchéité des toitures-terrasses avec éléments porteurs en maçonnerie,” pp. 84-204.
- [25] INE, IP, *O Parque Habitacional e a sua Reabilitação Análise e Evolução 2001-2011*, Lisboa: Instituto Nacional de Estatística, I.P., 2013.
- [26] J. G. Lopes, *Revestimentos de Impermeabilização de Coberturas em Terraço*, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1994.
- [27] N. F. d. S. Garcez, *Sistemas de Inspeção e Diagnóstico de Revestimentos Exteriores de Coberturas Inclinadas*, Dissertação de Mestrado: Instituto Superior Técnico da Universidade Técnica de Lisboa, 2009.
- [28] Débora Pinto, *Importância da pormenorização construtiva na reabilitação de edifícios - Reabilitação de coberturas*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [29] Jorge M. Grandão Lopes, *Revestimentos de Impermeabilização de Coberturas em Terraço, Informação Técnica de Edifícios, ITE 34*, Lisboa: LNEC, 2006.
- [30] A. C. P. d. B. G. d. Santos, *Reabilitação Energética de Coberturas de Edifícios Antigos - Avaliação de Soluções do Ponto de Vista Técnico-Económico*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [31] L. M. C. Matias, *Avaliação do Desempenho Térmico de Proteções Refletantes Aplicadas em Coberturas Inclinadas*, Dissertação de Mestrado, Lisboa: LNEC, 2002.
- [32] J. Mascarenhas, *Sistemas de Construção VI*, Lisboa: Livros Horizonte, 2006.
- [33] NP EN 14509 2013, *Painéis Sanduíche Autoportantes, Isolantes, com Dupla Face Metálica - Produtos Manufacturados - Especificações*, Caparica: Instituto Português da Qualidade, 2013.
- [34] J. V. Paiva, J. Aguiar e A. Pinho, *Guia Técnico de Reabilitação Habitacional, 1ª ed., vol. 2, I. N. d. Habitação, Ed.*, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.

- [35] “Onduline,” [Online]. Available: https://pt.onduline.com/sites/onduline_pt/files/manual_ondutherm.pdf. [Acedido em Maio 2017].
- [36] Vitor Córias, *Reabilitação Estrutural de Edifícios Antigos*, Lisboa: GECORPA, 2007.
- [37] João Appleton, José Aguiar, António Reis Cabrita, *Guião de Apoio à Reabilitação de Edifícios Habitacionais – Vol. 1 e 2*, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 1998.
- [38] Pedro Lourenço, *Guia para reabilitação: Revestimentos e impermeabilização de coberturas cerâmicas inclinadas*, Ílhavo - Aveiro: Consultoria Umbelino S. A..
- [39] Vasco Peixoto de Freitas, *Isolamento térmico de fachadas pelo exterior*, MaxitGroup, 2002.
- [40] Adene Lneç Ineti & Ipq., “Reabilitação energética da envolvente de edifícios residenciais,” [Online]. Available: http://www.eficiencia-energetica.com/images/upload/Reabilitacao_energetica.pdf. [Acedido em Maio 2017].
- [41] “Blog Engenharia Civil,” [Online]. Available: <http://engenhariacivil.files.wordpress.com/2008/01/fachada2.jpg>. [Acedido em Maio 2017].
- [42] Eva Barreira, *Degradação biológica de fachadas com sistemas de isolamento térmico pelo exterior devida ao desempenho higrotérmico*, Dissertação de Doutoramento, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2010.
- [43] Joana Maia, *Avaliação do ciclo de vida de soluções de reabilitação energética de fachadas*, Dissertação de Mestrado: Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2013.
- [44] Np En Iso 14040, *ISO 14040:2008 Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Princípios e Enquadramento*, Caparica, 2008.
- [45] Np En Iso 14044, *ISO 14044:2010 Gestão Ambiental - Avaliação do Ciclo de Vida - Requisitos e linhas de orientação*, Caparica, 2010.
- [46] José Ferreira, *Análise de ciclo de vida dos produtos*, Instituto Politécnico de Viseu, 2004.
- [47] “Open LCA,” [Online]. Available: <http://www.openlca.org/>. [Acedido em Junho 2017].
- [48] C. A. P. d. Santos e L. Matias, *Coeficientes de Transmissão Térmica de Elementos da Envolvente dos Edifícios*, Lisboa: Laboratório Nacional de Engenharia Civil, 2006.
- [49] ““Resolução do Conselho de Ministros n.º 109/2007,”” em *Diário da República 1.ª série — N.º 159*, 5404-5478, 20 de Agosto de 2007.

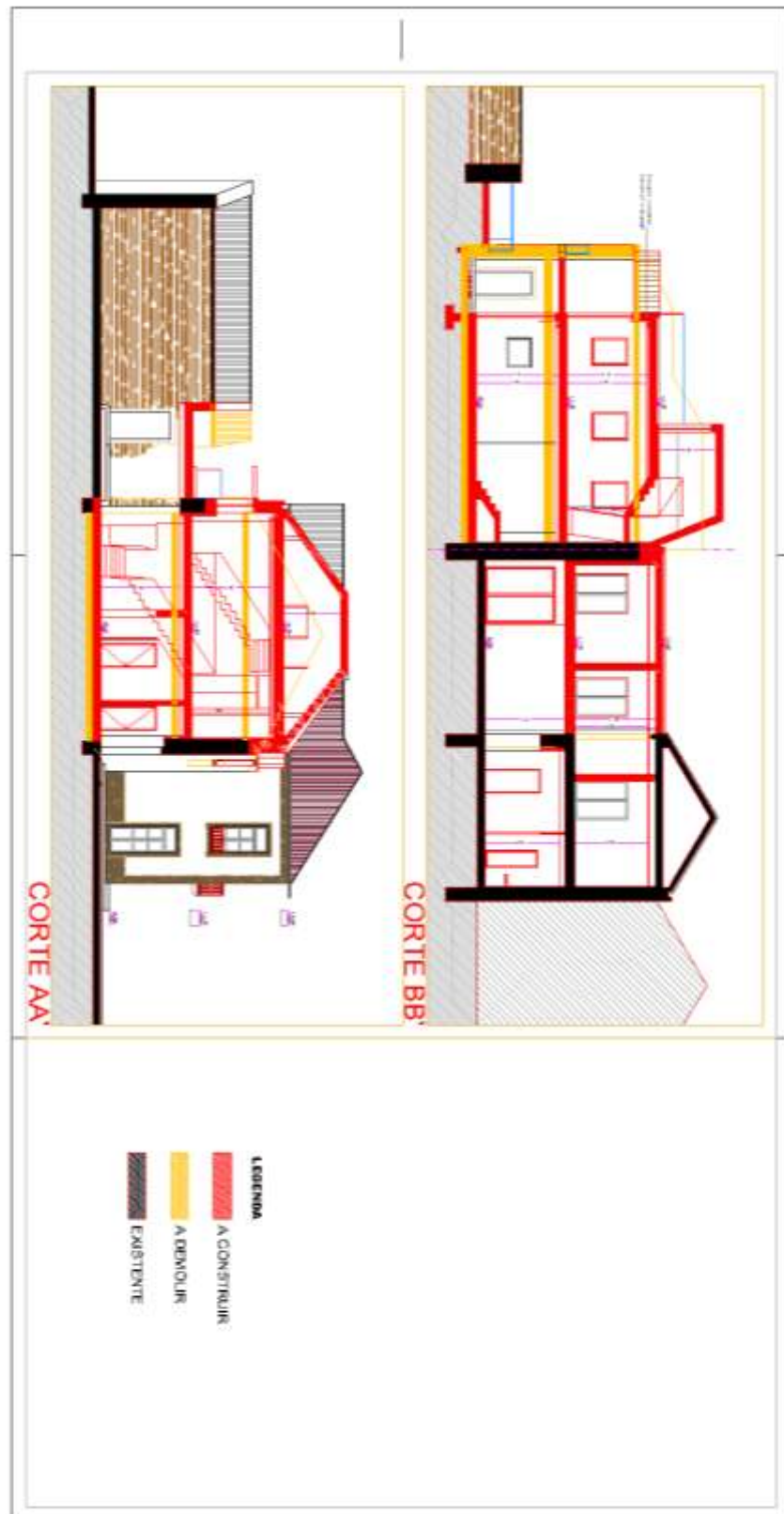
Anexo 1

A1. PLANTAS E CORTES DO EDIFÍCIO







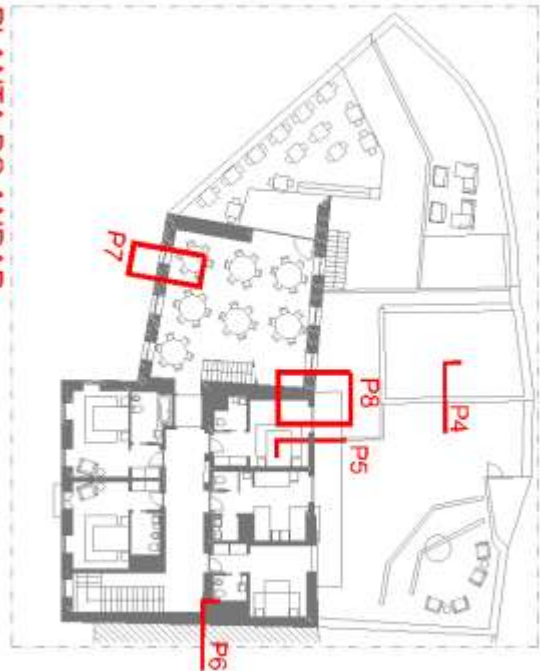


Anexo 2

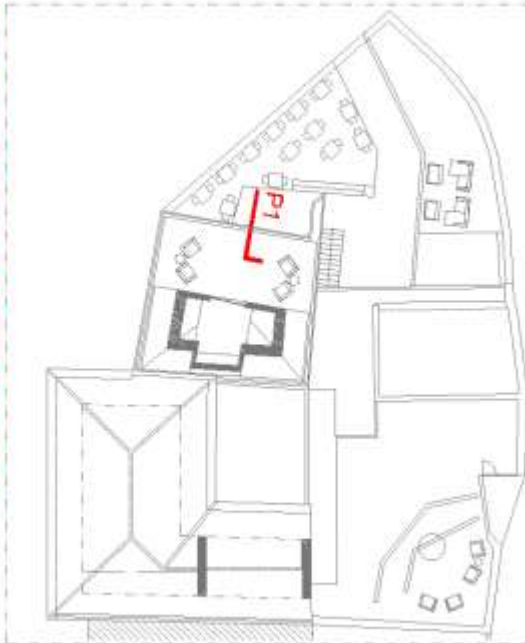
A2. PORMENORES CONSTRUTIVOS ANALISADOS NO CASO DE ESTUDO



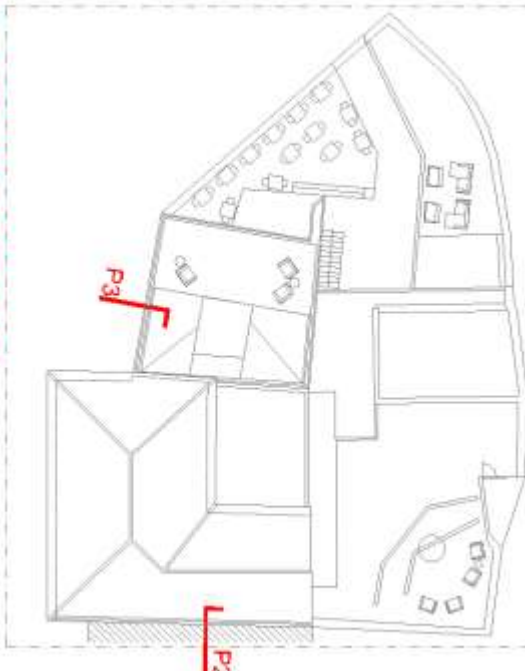
PLANTA DO RCHÃO



PLANTA DO ANDAR



PLANTA DO VÃO DE COBERTURA



PLANTA DA COBERTURA

